

## TITLE OF THE INVENTION

光学特性計測方法、露光方法及びデバイス製造方法

## CROSS-REFERENCE TO RELATED APPLICATIONS

This is a continuation of International Application PCT/JP02/04435, with an international filing date of May 7, 2002, the entire content of which being hereby incorporated herein by reference, which was not published in English.

## BACKGROUND OF THE INVENTION

### Field of The Invention

本発明は、光学特性計測方法、露光方法及びデバイス製造方法に係り、更に詳しくは、投影光学系の光学特性を計測する光学特性計測方法、該光学特性計測方法によって計測された光学特性を考慮して調整された投影光学系を用いて露光を行う露光方法、及び該露光方法を利用したデバイスの製造方法に関する。

### Description of The Related Art

従来より、半導体素子、液晶表示素子等を製造するためのリソグラフィ工程では、マスク又はレチクル（以下、「レチクル」と総称する）に形成されたパターンを投影光学系を介してレジスト等が塗布されたウエハ又はガラスプレート等の基板（以下、適宜「ウエハ」ともいう）上に転写する露光装置が用いられている。この種の装置としては、近年では、スループットを重視する観点から、ステップ・アンド・リピート方式の縮小投影露光装置（いわゆる「ステッパ」）や、このステッパを改良したステップ・アンド・スキャン方式の走査型露光装置などの逐次移動型の露光装置が、比較的多く用いられている。

また、半導体素子（集積回路）等は年々高集積化しており、これに伴い半導

体素子等の製造装置である投影露光装置には、一層の高解像力、すなわちより微細なパターンを精度良く転写できることが要求されるようになってきた。投影露光装置の解像力を向上させるためには、投影光学系の光学性能を向上させることが必要であり、従って投影光学系の光学特性（結像特性を含む）を正確に計測し、評価することが重要となっている。

投影光学系の光学特性、例えばパターンの像面の正確な計測は、投影光学系の視野内の各評価点（計測点）における最適なフォーカス位置（最良フォーカス位置）を正確に計測できることが前提となる。

従来の投影露光装置における最良フォーカス位置の計測方法としては、主として以下の 2 つが知られている。

1 つは、いわゆる C D / フォーカス法として知られている計測方法である。ここでは、所定のレチクルパターン（例えば、ラインアンドスペースパターン等）をテストパターンとして、このテストパターンを投影光学系の光軸方向に関する複数のウエハ位置でテスト用ウエハに転写する。そして、そのテスト用ウエハを現像して得られるレジスト像（転写されたパターンの像）の線幅値を走査型電子顕微鏡（S E M）等を用いて計測し、その線幅値と投影光学系の光軸方向に関するウエハ位置（以下、適宜「フォーカス位置」ともいう）との相関関係に基づいて最良フォーカス位置を判断する。

他の 1 つは、例えば日本特許第 2580668 号、第 2712330 号、及び対応する米国特許第 4,908,656 号などに開示される、いわゆる S M P フォーカス計測法として知られている計測方法である。ここでは、複数のフォーカス位置で、くさび形マークのレジスト像をウエハ上に形成し、フォーカス位置の違いによるレジスト像の線幅値の変化を長手方向の寸法変化に増幅させて置き換え、ウエハ上のマークを検出するアライメント系などのマーク検出系を用いてレジスト像の長手方向の長さを計測する。そして、フォーカス位置とレジスト像の長さとの相関関係を示す近似曲線の極大値近傍を所定のスライ

スレベルでスライスし、得られたフォーカス位置の範囲の中点を最良フォーカス位置と判断する。

そして、種々のテストパターンについて、このようにして得られた最良フォーカス位置に基づいて、投影光学系の光学特性である非点収差や像面湾曲等を計測している。

しかし、上述したCD／フォーカス法では、例えばレジスト像の線幅値をSEMで計測するために、SEMのフォーカス合わせを厳密に行う必要があり、1点当たりの計測時間が非常に長く、多数点での計測をするためには数時間から数十時間が必要とされていた。また、投影光学系の光学特性を計測するためのテスト用パターンも微細化するとともに、投影光学系の視野内の評価点の数も増加することが予想される。従って、SEMを用いた従来の計測方法では、計測結果が得られるまでのスループットが大幅に低下してしまうという不都合があった。また、測定誤差や測定結果の再現性についても、より高いレベルが要求されるようになり、従来の計測方法ではその対応が困難となってきた。さらに、フォーカス位置と線幅値の相関関係を示す近似曲線は、誤差を小さくするためには4次以上の近似曲線が用いられており、それには、評価点毎に少なくとも5種類のフォーカス位置に関する線幅値が求められなければならないという制約があった。また、最良フォーカス位置からはずれたフォーカス位置（投影光学系の光軸方向に関する十方向と一方向との両方を含む）での線幅値と最良フォーカス位置での線幅値との差は、誤差を小さくするために10%以上であることが要求されているが、この条件を満足させることが困難となってきた。

また、上述したSMPフォーカス計測法では、通常、計測を単色光で行うために、レジスト像の形状の違いにより干渉の影響が異なり、それが計測誤差（寸法オフセット）につながることが考えられる。さらに、画像処理にてくさび形マークのレジスト像の長さ計測を行うには、レジスト像の最も細くなる長手方向の両端部分までの情報を詳細に取り込む必要があり、現状の画像取り込み機

器（CCDカメラ等）の分解能では未だ十分ではないという問題点がある。また、テストパターンが大きいために、投影光学系の視野内での評価点の数を増加させることが困難であった。

この他、主として上述のCD／フォーカス法の欠点を改善するものとして、テスト露光によってパターンが転写されたウエハを現像し、現像後にウエハ上に形成されるパターンのレジスト像を撮像し、その撮像データを用いて所定のテンプレートとのパターンマッチングを行い、その結果に基づいて最良フォーカス位置などの最良露光条件を決定する発明が、例えば特開平11-233434号公報などに開示されている。この公報に開示される発明によると、SMP計測法のような現状の画像取り込み機器（CCDカメラ等）の分解能不足や、投影光学系の視野内での評価点の数の増加が困難であるという不都合もない。

しかるに、テンプレートマッチング法を採用して、かつこれを自動化する場合には、そのテンプレートマッチングを容易にするためにパターンとともにマッチングの基準となる枠（パターン）がウエハ上に形成されるのが通常である。

しかしながら、上述のようなテンプレートマッチングを用いた最良露光条件の決定方法にあっては、多種多用なプロセス条件の中にはパターンの近傍に形成されるテンプレートマッチングの基準となる枠の存在により、画像処理方式のウエハアライメント系、例えばFIA（field image alignment）系のアライメントセンサなどで画像取り込みを行った場合に、パターン部のコントラストが著しく低下して計測が不可能になる場合があった。

#### SUMMARY OF THE INVENTION

本発明は、かかる事情の下になされたものであり、その第1の目的は、短時間で、精度及び再現性良く投影光学系の光学特性を計測することができる光学特性計測方法を提供することにある。

また、本発明の第2の目的は、高精度な露光を実現できる露光方法を提供す

ることにある。

また、本発明の第3の目的は、高集積度のデバイスの生産性を向上させることができるデバイス製造方法を提供することにある。

本発明は、第1の観点からすると、第1面上のパターンを第2面上に投影する投影光学系の光学特性を計測する光学特性計測方法であって、少なくとも1つの露光条件を変更しながら、前記第1面上に配置された計測用パターンを前記投影光学系の第2面側に配置された物体上に順次転写してマトリックス状に配置された複数の区画領域から成る全体として矩形の第1領域を前記物体上に形成する第1工程と；前記第1領域の周囲の少なくとも一部の前記物体上の領域に過露光の第2領域を形成する第2工程と；前記第1領域を構成する前記複数の区画領域の少なくとも一部の複数の区画領域における前記計測用パターンの像の形成状態を検出する第3工程と；前記検出結果に基づいて前記投影光学系の光学特性を求める第4工程と；を含む第1の光学特性計測方法である。

本明細書において、「露光条件」とは、照明条件（マスクの種別を含む）、像面上における露光ドーズ量等狭義の露光条件の他、投影光学系の光学特性など露光に関連する全ての構成部分の設定条件を含む広義の露光条件を意味する。

これによれば、少なくとも1つの露光条件を変更しながら、第1面（物体面）上に配置された計測用パターンを投影光学系の第2面（像面）側に配置された物体上に順次転写してマトリックス状に配置された複数の区画領域から成る全体として矩形の第1領域を物体上に形成するとともに、第1領域の周囲の少なくとも一部の物体上の領域に過露光の第2領域を形成する（第1、第2工程）。

そして、第1領域を構成する複数の区画領域の少なくとも一部の複数の区画領域における計測用パターンの像の形成状態を検出する（第3工程）。ここで、計測用パターンの像の形成状態の検出は、物体が感光物体である場合に、その物体を現像することなく物体上に形成された潜像に対して行っても良いし、上記像が形成された物体を現像した後、物体上に形成されたレジスト像、あるいは

はレジスト像が形成された物体をエッチング処理して得られる像（エッチング像）などに対して行っても良い。ここで、物体上における像の形成状態を検出するための感光層は、フォトレジストに限らず、光（エネルギー）の照射によって像（潜像及び顕像の少なくとも一方）が形成されるものであれば良い。例えば、感光層は、光記録層、光磁気記録層などであっても良く、従って、感光層が形成される物体もウエハ又はガラスプレート等に限らず、光記録層、光磁気記録層が形成可能な板等であっても良い。

例えば、像の形成状態の検出をレジスト像、エッチング像などに対して行う場合には、SEMなどの顕微鏡は勿論、例えば露光装置のアライメント検出系、例えばアライメントマークの像を撮像素子上に結像する画像処理方式のアライメント検出系、いわゆるFIA(Field Image Alignment)系のアライメントセンサや、コヒーレントな検出光を対象に照射し、その対象から発生する散乱光又は回折光を検出するアライメントセンサ、例えばいわゆるLSA系のアライメントセンサや、その対象から発生する2つの回折光（例えば同次数）を干渉させて検出するアライメントセンサなど、各種のアライメントセンサをも用いることができる。

また、像の形成状態の検出を潜像に対して行う場合には、FIA系などを用いることができる。

いずれにしても、第1領域の外側に過露光の第2領域（パターン像が形成されない領域）が存在するので、第1領域内の最外周部に位置する区画領域（以下、「外縁部区画領域」と呼ぶ）の検出の際に、隣接する外側の領域のパターン像の存在によりその外縁部区画領域の像のコントラストが低下するのが防止される。従って、前記外縁部区画領域と第2領域の境界線をS/N比良く検出することが可能となり、その境界線を基準として設計値に基づき他の区画領域の位置を算出することにより、他の区画領域のほぼ正確な位置を求めることが可能となる。これにより、第1領域内の複数の区画領域それぞれの位置をほぼ正

確に知ることができるので、例えばそれぞれの区画領域における像のコントラスト、あるいは回折光などの反射光の光量などを検出することにより、パターン像の形成状態を短時間で検出することが可能になる。

そして、その検出結果に基づいて投影光学系の光学特性を求める(第4工程)。ここでは、客観的かつ定量的な像のコントラスト、回折光などの反射光の光量などを用いた検出結果に基づいて光学特性が求められるために、従来の方法と比較して光学特性を精度及び再現性良く計測することができる。

また、従来の寸法を計測する方法に比べて、計測用パターンを小さくすることができるため、マスク(又はレチクル)のパターン領域内に多くの計測用パターンを配置することが可能となる。従って、評価点の数を増加させることができるとともに、各評価点間の間隔を狭くすることができ、結果的に光学特性計測の測定精度を向上させることができるとなる。

従って、本発明の第1の光学特性計測方法によれば、短時間で、精度及び再現性良く投影光学系の光学特性を計測することができる。

この場合において、第1工程は、第2工程に先立って行われても良いが、前記第2工程は、前記第1工程に先立って行われることとしても良い。後者の場合には、例えば感光剤として、化学增幅型レジストなどの高感度レジストを用いる場合に、計測用パターンの像の形成(転写)から現像までの時間を短くできるので、特に好適である。

本発明の第1の光学特性計測方法では、前記第2領域は、前記第1領域を取り囲む一回り大きい矩形枠状の領域の少なくとも一部であることとすることができる。かかる場合には、第2領域の外縁部を検出することにより、その外縁部を基準として第1領域を構成する複数の区画領域の位置を容易に算出することも可能である。

本発明の第1の光学特性計測方法において、前記第2工程では、前記第1面上に配置された所定のパターンを前記投影光学系の第2面側に配置された前記

物体上に転写して前記第2領域を形成することととができる。この場合において、所定のパターンとしては、矩形枠状のパターン、あるいはその矩形枠の一部形状、例えばコ字状（U字状）のパターンなど種々のパターンが考えられる。例えば、前記所定のパターンが全体として矩形のパターンである場合には、前記第2工程では、前記第1面上に配置された前記全体として矩形のパターンを前記投影光学系の第2面側に配置された前記物体上に走査露光方式（又はステップ・アンド・スティッチ方式）などで転写することととができる。あるいは、前記所定のパターンが全体として矩形のパターンである場合に、前記第2工程では、前記第1面上に配置された前記全体として矩形のパターンを前記投影光学系の第2面側に配置された前記物体上に順次転写することととすることもできる。

この他、本発明の第1の光学特性計測方法において、前記第2工程では、前記第1面上に配置された前記計測用パターンを前記投影光学系の第2面側に配置された前記物体上に過露光となる露光量で順次転写して前記第2領域を形成することととができる。

本発明の第1の光学特性計測方法において、前記第3工程では、前記第2領域の一部を基準として前記第1領域を構成する複数の区画領域それぞれの位置を算出することととができる。

本発明の第1の光学特性計測方法において、前記第3工程では、前記第1領域を構成する複数の区画領域及び前記第2領域に対応する撮像データに基づき、テンプレートマッチングの手法により前記第1領域を構成する前記複数の区画領域の少なくとも一部の複数の区画領域における像の形成状態を検出することととができる。

本発明の第1の光学特性計測方法において、前記第3工程では、前記第1領域を構成する前記複数の区画領域の少なくとも一部の複数の区画領域における像の形成状態を、撮像により得られた前記各区画領域のピクセルデータに関する

る代表値を判定値として検出することとすることができる。かかる場合には、各区画領域のピクセルデータに関する代表値という客観的かつ定量的な値を判定値として像（計測用パターンの像）の形成状態を検出するので、像の形成状態を精度、再現性良く検出することが可能となる。

この場合において、前記代表値は、前記ピクセルデータの加算値、微分総和値、分散及び標準偏差の少なくとも1つであることとすることができる。あるいは、前記代表値は、各区画領域内の指定範囲内におけるピクセル値の加算値、微分総和値、分散及び標準偏差のいずれかであることとすることもできる。ここで、各区画領域内の指定範囲は勿論、代表値の算出のためピクセルデータを抽出するエリア（例えば区画領域）の形状は、矩形、円形、橢円形、あるいは三角形などの多角形、のいずれの形状であっても良い。

本発明の第1の光学特性計測方法では、前記像の形成状態の検出に際し、前記各区画領域の代表値を所定の閾値と比較して二値化することとすることができる。かかる場合には、像（計測用パターンの像）の有無を精度、再現性良く検出することが可能となる。

なお、本明細書において、上記の代表値として用いられるピクセル値の加算値、分散あるいは標準偏差などを、適宜、「スコア」あるいは「コントラストの指標値」などとも呼ぶものとする。

本発明の第1の光学特性計測方法では、前記露光条件は、前記投影光学系の光軸方向に関する前記物体の位置及び前記物体上に照射されるエネルギービームのエネルギー量の少なくとも一方を含むこととすることができる。

本発明の第1の光学特性計測方法では、前記計測用パターンの転写に際しては、前記投影光学系の光軸方向に関する前記物体の位置と前記物体上に照射されるエネルギービームのエネルギー量をそれぞれ変更しながら、前記計測用パターンを前記物体上に順次転写し、前記像の形成状態の検出に際しては、前記物体上の前記少なくとも一部の複数の区画領域における前記計測用パターンの像の

有無を検出し、前記光学特性を求めるに際しては、前記像が検出された複数の区画領域に対応する前記エネルギーームのエネルギー量と前記投影光学系の光軸方向に関する前記物体の位置との相関関係により最良フォーカス位置を決定することととすることができる。

かかる場合には、計測用パターンの転写に際しては、2つの露光条件、すなわち投影光学系の光軸方向に関する物体の位置と物体上に照射されるエネルギーームのエネルギー量を変更しながら計測用パターンの像を物体上の複数の領域に順次転写する。この結果、物体上の各領域には、それぞれ転写時の投影光学系の光軸方向に関する物体の位置及び物体上に照射されるエネルギーームのエネルギー量が異なる計測用パターンの像が転写される。

そして、像の形成状態の検出に際しては、物体上の前記少なくとも一部の複数の区画領域について、例えば投影光学系の光軸方向に関する位置毎に計測用パターンの像の有無を検出する。この結果、投影光学系の光軸方向に関する位置毎に、その像が検出されたエネルギーームのエネルギー量を求めることができる。このように、像のコントラスト又は回折光などの反射光の光量などを利用した手法により、像の形成状態を検出しているため、従来の寸法を計測する方法と比較して、短時間で像の形成状態を検出することができる。また、客観的かつ定量的な像のコントラスト又は回折光などの反射光の光量などを用いているため、従来の方法と比較して、形成状態の検出精度及び検出結果の再現性を向上させることができる。

そして、前記光学特性を求めるに際しては、その像が検出されたエネルギーームのエネルギー量と投影光学系の光軸方向に関する位置との相関関係を示す近似曲線を求め、例えば、その近似曲線の極値から最良フォーカス位置を求めることができる。

本発明は、第2の観点からすると、第1面上のパターンを第2面上に投影する投影光学系の光学特性を計測する光学特性計測方法であって、少なくとも1

つの露光条件を変更しながら、前記第1面上に配置されたマルチバーパターンを含む計測用パターンを前記投影光学系の第2面側に配置された物体上に順次転写し、隣接する複数の区画領域から成り、各区画領域に転写された前記マルチバーパターンとこれに隣接するパターンとが、前記マルチバーパターンの像のコントラストが前記隣接するパターンによる影響を受けない距離 $L$ 以上離れている所定の領域を前記物体上に形成する第1工程と；前記所定の領域を構成する前記複数の区画領域の少なくとも一部の複数の区画領域における像の形成状態を検出する第2工程と；前記検出結果に基づいて前記投影光学系の光学特性を求める第3工程と；を含む第2の光学特性計測方法である。

ここで、マルチバーパターンは、複数本のバーパターン（ラインパターン）が所定間隔で配置されたパターンを意味する。また、マルチバーパターンに隣接するパターンは、該マルチバーパターンが形成された区画領域の境界に存在する枠パターン、及び隣接する区画領域のマルチバーパターンのいずれをも含む。

これによれば、少なくとも1つの露光条件を変更しながら、第1面（物体面）上に配置されたマルチバーパターンを含む計測用パターンを投影光学系の第2面（像面）側に配置された物体上に順次転写し、隣接する複数の区画領域から成り、各区画領域に転写されたマルチバーパターンとこれに隣接するパターンとが、マルチバーパターンの像のコントラストが前記隣接するパターンによる影響を受けない距離 $L$ 以上離れている所定の領域を物体上に形成する（第1工程）。

次いで、前記所定の領域を構成する前記複数の区画領域の少なくとも一部の複数の区画領域における像の形成状態を検出する（第2工程）。

ここで、各区画領域に転写されたマルチバーパターンとこれに隣接するパターンとが、マルチバーパターンの像のコントラストが隣接するパターンによる影響を受けない距離 $L$ 以上離れているので、それぞれの区画領域に転写された

マルチバーパターンの像のS/N比が良好な検出信号を得ることができる。この場合、マルチバーパターンの像のS/N比が良好な検出信号を得ることができるので、例えばその検出信号の信号強度などを所定の閾値を用いて二値化することにより、マルチバーパターンの像の形成状態を二値化情報（像の有無情報）に変換することができ、各区画領域毎のマルチバーパターンの形成状態を精度、再現性良く検出することが可能となる。

そして、前記検出結果に基づいて前記投影光学系の光学特性を求める（第3工程）。従って、光学特性を精度及び再現性良く計測することができる。

また、前述の第1の光学特性計測方法の場合と同様の理由により、評価点の数を増加させることができるとともに、各評価点間の間隔を狭くすることができ、結果的に光学特性計測の測定精度を向上させることができるとなる。

この場合において、前記第2工程では、画像処理の手法により前記像の形成状態を検出することとすることができる。

すなわち、撮像信号に基づいて、テンプレートマッチング、あるいはコントラスト検出などの画像処理手法により各区画領域に形成されたマルチバーパターンの像の形成状態を精度良く検出することができる。

例えば、テンプレートマッチングによる場合には、客観的、定量的な相関値の情報が各区画領域毎に得られ、コントラスト検出の場合には、客観的、定量的なコントラスト値の情報が各区画領域毎に得られるので、いずれにしても、得られた情報を、それぞれの閾値と比較することにより、マルチバーパターンの像の形成状態を二値化情報（像の有無情報）に変換することにより、各区画領域毎のマルチバーパターンの形成状態を精度、再現性良く検出することが可能となる。

本発明の第2の光学特性計測方法では、前記距離しは、マルチバーパターンの像のコントラストが隣接するパターンにより影響を受けない程度の距離であれば良く、例えば、前記距離しは、前記各区画領域を撮像する撮像装置の解像

度を  $R_f$ 、前記マルチパターン像のコントラストを  $C_f$ 、プロセスによって定まるプロセスファクタを  $P_f$ 、前記撮像装置の検出波長を  $\lambda_f$  とした場合に、 $L = f(C_f, R_f, P_f, \lambda_f)$  なる関数で表されることとすることができる。ここで、プロセスファクタは、像のコントラストに影響を与えるので、プロセスファクタを含まない関数  $L = f'(C_f, R_f, \lambda_f)$  なる関数によって距離  $L$  を規定しても良い。

本発明の第2の光学特性計測方法では、前記所定の領域は、前記物体上にマトリックス状に配置された複数の区画領域から成る全体として矩形の領域であることとすることができる。

この場合において、前記第2工程では、前記所定の領域の外周の輪郭から成る矩形の外枠を前記所定の領域に対応する撮像データに基づいて検出し、その検出された外枠を基準として前記所定の領域を構成する複数の区画領域それぞれの位置を算出することとすることができる。

本発明の第2の光学特性計測方法において、前記第1工程では、前記所定の領域内の最外周部に位置する複数の区画領域の少なくとも一部の特定の複数の区画領域が過露光の領域となるように前記露光条件の一部として前記物体上に照射されるエネルギーームのエネルギー量を変更することとすることができる。かかる場合には、上記の外枠の検出に際して外枠部分の検出データ（撮像データなど）のS/N比が向上するので外枠検出が容易になる。

本発明の第2の光学特性計測方法において、前記第2工程では、前記所定の領域を構成する複数の区画領域に対応する撮像データに基づき、テンプレートマッチングの手法により前記所定の領域を構成する前記複数の区画領域の少なくとも一部の複数の区画領域における像の形成状態を検出することとすることができる。

本発明の第2の光学特性計測方法において、前記第2工程では、前記所定の領域を構成する前記複数の区画領域の少なくとも一部の複数の区画領域におけ

る像の形成状態を、撮像により得られた前記各区画領域のピクセルデータに関する代表値を判定値として検出することとすることができる。

この場合において、前記代表値は、前記ピクセルデータの加算値、微分総和値、分散及び標準偏差の少なくとも1つであることとすることができる。あるいは、前記代表値は、各区画領域内の指定範囲内におけるピクセル値の加算値、微分総和値、分散及び標準偏差のいずれかであることとすることができる。

ここで、各区画領域内の指定範囲は勿論、代表値の算出のためピクセルデータを抽出するエリア（例えば区画領域）の形状は、矩形、円形、橢円形、あるいは三角形などの多角形、のいずれの形状であっても良い。

本発明の第2の光学特性計測方法では、前記露光条件は、前記投影光学系の光軸方向に関する前記物体の位置及び前記物体上に照射されるエネルギービームのエネルギー量の少なくとも一方を含むこととすることができる。

本発明の第2の光学特性計測方法では、前記計測用パターンの転写に際しては、前記投影光学系の光軸方向に関する前記物体の位置と前記物体上に照射されるエネルギービームのエネルギー量をそれぞれ変更しながら、前記計測用パターンを前記物体上に順次転写し、前記像の形成状態の検出に際しては、前記物体上の前記少なくとも一部の複数の区画領域における前記計測用パターンの像の有無を検出し、前記光学特性を求めるに際しては、前記像が検出された複数の区画領域に対応する前記エネルギービームのエネルギー量と前記投影光学系の光軸方向に関する前記物体の位置との相関関係により最良フォーカス位置を決定することとすることができる。

かかる場合には、計測用パターンの転写に際しては、2つの露光条件、すなわち投影光学系の光軸方向に関する物体の位置と物体上に照射されるエネルギービームのエネルギー量を変更しながら計測用パターンの像を物体上の複数の領域に順次転写する。この結果、物体上の各領域には、それぞれ転写時の投影光学系の光軸方向に関する物体の位置及び物体上に照射されるエネルギービームのエ

エネルギー量が異なる計測用パターンの像が転写される。

そして、像の形成状態の検出に際しては、物体上の前記少なくとも一部の複数の区画領域について、例えば投影光学系の光軸方向に関する位置毎に計測用パターンの像の有無を検出する。この結果、投影光学系の光軸方向に関する位置毎に、その像が検出されたエネルギーームのエネルギー量を求めることができる。このように、客観的かつ定量的な上記の相関値、コントラストなどを利用した手法により、像の形成状態を検出しているため、従来の寸法を計測する方法と比較して、短時間で像の形成状態を検出することができる。また、客観的かつ定量的な撮像データを用いているため、従来の方法と比較して、形成状態の検出精度及び検出結果の再現性を向上させることができる。

そして、前記光学特性を求めるに際しては、その像が検出されたエネルギーームのエネルギー量と投影光学系の光軸方向に関する位置との相関関係を示す近似曲線を求め、例えば、その近似曲線の極値から最良フォーカス位置を求めることができる。

本発明は、第3の観点からすると、第1面上のパターンを第2面上に投影する投影光学系の光学特性を計測する光学特性計測方法であって、光透過部に形成される計測用パターンを前記第1面上に配置し、少なくとも1つの露光条件を変更しながら、かつ前記投影光学系の第2面側に配置された物体を前記光透過部のサイズに対応する距離以下のステップピッチで順次移動して前記計測用パターンを前記物体上に順次転写することにより、マトリックス状に配置された複数の区画領域から成る全体として矩形の所定の領域を前記物体上に形成する第1工程と；前記所定の領域を構成する前記複数の区画領域の少なくとも一部の複数の区画領域における像の形成状態を検出する第2工程と；前記検出結果に基づいて前記投影光学系の光学特性を求める第3工程と；を含む第3の光学特性計測方法である。

ここで、「光透過部」は、その形状は問わず内部に計測用パターンが配置され

ていれば良い。

これによれば、光透過部に形成される計測用パターンを前記第1面上に配置し、少なくとも1つの露光条件を変更しながら、かつ投影光学系の第2面側に配置された物体を光透過部のサイズに対応する距離以下のステップピッチで順次移動して前記計測用パターンを物体上に順次転写することにより、マトリックス状に配置された複数の区画領域から成る全体として矩形の所定の領域を物体上に形成する（第1工程）。この結果、物体上には、区画領域相互間の境界に従来のような枠線が存在しない複数のマトリックス状配置の複数の区画領域（計測用パターンの像が投影された領域）が形成される。

次に、前記所定の領域を構成する複数の区画領域の少なくとも一部の複数の区画領域における像の形成状態を検出する（第2工程）。この場合、隣接する区画領域間に枠線が存在しないので、像形成状態の検出対象である複数の区画領域（主として計測用パターンの像の残存する区画領域）において、計測用パターンの像のコントラストが枠線の存在により低下することがない。

このため、それらの複数の区画領域の検出データとしてパターン部と非パターン部のS/N比の良好なデータを得ることができ、このS/N比が良好なデータ（例えば光強度などのデータ）を所定の閾値と比較することにより、計測用パターンの像の形成状態を二値化情報（像の有無情報）に変換することができ、各区画領域毎の計測用パターンの形成状態を精度、再現性良く検出することができる。

そして、前記検出結果に基づいて前記投影光学系の光学特性を求める（第3工程）。従って、光学特性を精度及び再現性良く計測することができる。

また、前述と同様の理由により、評価点の数を増加させることができるとともに、各評価点間の間隔を狭くすることができ、結果的に光学特性計測の測定精度を向上させることができるとなる。

この場合において、前記第2工程では、前記像の形成状態を画像処理の手法

により検出することととができる。

すなわち、撮像データを用いてテンプレートマッチング法あるいはコントラスト検出法などの画像処理の手法により、像の形成状態を精度良く検出することができる。

例えば、テンプレートマッチングによる場合には、客観的、定量的な相関値の情報が区画領域毎に得られ、コントラスト検出の場合には、客観的、定量的なコントラスト値の情報が区画領域毎に得られるので、いずれにしても、得られた情報を、それぞれの閾値と比較することにより、計測用パターンの像の形成状態を二値化情報（像の有無情報）に変換することにより、区画領域毎の計測用パターンの形成状態を精度、再現性良く検出することが可能となる。

本発明の第3の光学特性計測方法では、前記ステップピッチは、前記物体上で前記光透過部の投影領域がほぼ接する、あるいは重なるように設定されることととができる。

本発明の第3の光学特性計測方法では、前記物体には、その表面にポジ型のフォトレジストで感光層が形成されるとともに、前記像は前記計測用パターンの転写後に現像処理を経て前記物体上に形成され、前記ステップピッチは、前記物体上で隣接する像間の感光層が前記現像処理により除去されるように設定されることととができる。

本発明の第3の光学特性の計測方法において、前記第1工程では、前記所定の領域内の最外周部に位置する複数の区画領域の少なくとも一部の特定の複数の区画領域が過露光の領域となるように前記露光条件の一部として前記物体上に照射されるエネルギービームのエネルギー量を変更することととができる。かかる場合には、所定の領域の外縁の検出に際してのS/N比が向上する。

本発明の第3の光学特性計測方法では、前記第2工程は、前記所定の領域の外周の輪郭から成る矩形の外枠を前記所定の領域に対応する撮像データに基づいて検出する外枠検出工程と；前記検出された外枠を基準として前記所定の領

域を構成する複数の区画領域それぞれの位置を算出する算出工程と；を含むこととすることができる。

この場合において、前記外枠検出工程では、前記所定の領域の外周の輪郭から成る矩形の外枠を構成する第1辺から第4辺の各辺上でそれぞれ少なくとも2点を求め、前記求めた少なくとも8点に基づいて前記所定の領域の外枠を算出することとことができる。また、前記算出工程では、既知の区画領域の配列情報を用いて前記検出した外枠の内部領域を等分割して、前記所定の領域を構成する複数の区画領域それぞれの位置を算出することとすることができる。

本発明の第3の光学特性計測方法では、前記外枠検出工程は、前記所定の領域の外周の輪郭から成る矩形の外枠を構成する第1辺から第4辺のうちの少なくとも1辺について概略位置検出を行う概略位置検出工程と；前記概略位置検出工程で算出された少なくとも1辺の概略位置の検出結果を利用して前記第1辺から第4辺の位置を検出する詳細位置検出工程と；を含むこととすることができる。

この場合において、前記概略位置検出工程では、前記所定の領域の画像中心近傍を通る第1方向のピクセル列情報を用いて境界検出を行い、前記詳細位置検出工程では、前記所定の領域の前記第1方向の一端、他端にそれぞれ位置し前記第1方向に直交する第2方向に延びる第1辺、第2辺の概略位置をそれぞれ求め、前記求めた前記第1辺の概略位置より所定距離だけ前記第2辺寄りの位置を通る前記第2方向のピクセル列、及び前記求めた前記第2辺の概略位置より所定距離だけ前記第1辺寄りの位置を通る前記第2方向のピクセル列を用いて境界検出を行い、前記所定の領域の前記第2方向の一端、他端にそれぞれ位置し前記第1方向に延びる第3辺、第4辺及び該第3辺、第4辺上の各2点を求め、前記求めた第3辺より所定距離だけ前記第4辺寄りの位置を通る第1方向のピクセル列、及び前記求めた第4辺より所定距離だけ前記第3辺寄りの位置を通る前記第1方向のピクセル列を用いて境界検出を行い、前記所定の領

域の前記第3辺、第4辺上の各2点を求め、矩形領域である前記所定の領域の4頂点を、前記第1ないし第4辺上の各2点の点に基づいて定まる4本の直線同士の交点として求め、前記求めた4頂点に基づいて最小二乗法による長方形近似を行い、回転を含めた前記所定の領域の矩形の外枠を算出することとすることができる。

この場合において、前記境界検出に際して、誤検出を起こし難い境界の検出情報を用いて、誤検出を起こし易い境界の検出範囲を限定することとすることができる。かかる場合には、特に、所定の領域内の最外周部に位置する複数の区画領域のいずれをも過露光の領域としなかった場合にも、前述の境界検出を精度良く行うことができる。

あるいは、前記境界検出に際しては、前記各ピクセル列のピクセル値から成る信号波形と所定の閾値  $t$  との交点を求め、該求めた各交点の近傍の極大値及び極小値を求め、求めた極大値及び極小値の平均値を新たな閾値  $t'$  とし、前記波形信号が前記極大値と極小値間で新たな閾値  $t'$  を横切る位置を求め、その位置を境界位置とすることとすることができる。

この場合において、閾値  $t$  は、予め定めた値を用いることもできるが、前記閾値  $t$  は、所定の範囲の振り幅で閾値を変化させつつ、該閾値と前記境界検出用に取り出した直線状のピクセル列のピクセル値から成る信号波形との交点数を求め、該求めた交点数が、前記計測用パターンによって決まる目標交点数に一致したときの閾値を仮閾値とし、該仮閾値を含み、前記交点数が前記目標交点数となる閾値範囲を求め、その求めた閾値範囲の中心を前記閾値  $t$  として決定することによって設定されていることとすることができる。

この場合において、前記振り幅は、前記境界検出用に取り出した直線状のピクセル列におけるピクセル値の平均と標準偏差を基に設定されていることとすることができる。

本発明の第3の光学特性計測方法において、前記第2工程では、前記所定の

領域に対応する撮像データに基づき、テンプレートマッチングの手法により前記所定の領域を構成する前記複数の区画領域の少なくとも一部の複数の区画領域における像の形成状態を検出することとすることができる。

あるいは、前記第2工程では、前記所定の領域を構成する前記複数の区画領域の少なくとも一部の複数の区画領域における像の形成状態を、撮像により得られた前記各区画領域のピクセルデータに関する代表値を判定値として検出することとすることができる。

この場合において、前記代表値は、前記ピクセルデータの加算値、微分総和値、分散及び標準偏差の少なくとも1つであることとすることとすることができる。あるいは、前記代表値は、各区画領域内の指定範囲内におけるピクセル値の加算値、微分総和値、分散及び標準偏差のいずれかであることとすることとすることができる。後者の場合、前記指定範囲は、前記計測用パターンの像と前記区画領域との設計上の位置関係に応じて定まる縮小率で前記各区画領域を縮小した縮小領域であることとすることとすることができる。

本発明の第3の光学特性計測方法では、前記露光条件は、前記投影光学系の光軸方向に関する前記物体の位置及び前記物体上に照射されるエネルギーbeamのエネルギー量の少なくとも一方を含むこととすることとすることができる。

本発明の第3の光学特性計測方法において、前記第1工程では、前記投影光学系の光軸方向に関する前記物体の位置と前記物体上に照射されるエネルギーbeamのエネルギー量をそれぞれ変更しながら、前記計測用パターンを前記物体上に順次転写し、前記第2工程では、前記物体上の前記少なくとも一部の複数の区画領域における前記計測用パターンの像の有無を検出し、前記第3工程では、その像が検出された複数の区画領域に対応する前記エネルギーbeamのエネルギー量と前記投影光学系の光軸方向に関する前記物体の位置との相関関係により最良フォーカス位置を決定することとすることとすることができる。

本発明は、第4の観点からすると、第1面上のパターンを第2面上に投影す

る投影光学系の光学特性を計測する光学特性計測方法であって、少なくとも 1 つの露光条件を変更しながら、前記第 1 面上に配置された計測用パターンを前記投影光学系の第 2 面側に配置された物体上の複数の領域に順次転写する第 1 工程と；前記計測用パターンが異なる露光条件で転写された前記物体上の前記複数の領域を撮像し、複数のピクセルデータからなる領域毎の撮像データをそれぞれ求め、前記複数の領域の少なくとも一部の複数の領域について、該領域毎のピクセルデータに関する代表値を用いて前記計測用パターンの像の形成状態を検出する第 2 工程と；前記検出結果に基づいて前記投影光学系の光学特性を求める第 3 工程と；を含む第 4 の光学特性計測方法である。

これによれば、少なくとも 1 つの露光条件を変更しながら計測用パターンの像を物体上の複数の領域に順次転写する（第 1 工程）。この結果、物体上の各領域には、それぞれ転写時の露光条件が異なる計測用パターンの像が転写される。

次に、物体上の複数の領域を撮像し、領域毎に複数のピクセルデータからなる領域毎の撮像データをそれぞれ求め、前記複数の領域の少なくとも一部の複数の領域について、該領域毎のピクセルデータに関する代表値を用いて前記計測用パターンの像の形成状態を検出する（第 2 工程）。この場合、領域毎のピクセルデータに関する代表値を判定値として、すなわち、代表値の大小により像の形成状態が検出される。このように、ピクセルデータに関する代表値を利用して画像処理の手法により像の形成状態を検出しているため、従来の寸法を計測する方法（例えば、前述した CD／フォーカス法や SMP フォーカス計測法等）と比較して、短時間で像の形成状態を検出することができる。また、客観的かつ定量的な撮像データ（ピクセルデータ）を用いているため、従来の方法と比較して、形成状態の検出精度及び再現性を向上させることができる。

そして、像の形成状態の検出結果に基づいて投影光学系の光学特性を求める（第 3 工程）。ここで、計測用パターンの像の形成状態の検出は、物体が感光物体である場合に、その物体を現像することなく物体上に形成された潜像に対し

て行っても良いし、上記像が形成された物体を現像した後、物体上に形成されたレジスト像、あるいはレジスト像が形成された物体をエッチング処理して得られる像（エッチング像）などに対して行っても良い。ここで、物体上における像の形成状態を検出するための感光層は、フォトレジストに限らず、光（エネルギー）の照射によって像（潜像及び顕像）が形成されるものであれば良い。例えば、感光層は、光記録層、光磁気記録層などであっても良く、従って、感光層が形成される物体もウエハ又はガラスプレート等に限らず、光記録層、光磁気記録層が形成可能な板等であっても良い。

例えば、像の形成状態の検出をレジスト像、エッチング像などに対して行う場合には、SEMなどの顕微鏡は勿論、例えば露光装置のアライメント検出系、例えばアライメントマークの像を撮像素子上に結像する画像処理方式のアライメント検出系、いわゆる FIA (Field Image Alignment) 系のアライメントセンサや、コヒーレントな検出光を対象に照射し、その対象から発生する散乱光又は回折光を検出するアライメントセンサ、例えばいわゆる LSA 系のアライメントセンサや、その対象から発生する 2 つの回折光（例えば同次数）を干渉させて検出するアライメントセンサなど、各種のアライメントセンサをも用いることができる。

また、像の形成状態の検出を潜像に対して行う場合には、FIA 系などを用いることができる。

いずれにしても、客観的かつ定量的な撮像データを用いた検出結果に基づいて光学特性が求められるために、従来の方法と比較して光学特性を精度及び再現性良く計測することができる。

また、前述と同様の理由により、評価点の数を増加させることができるとともに、各評価点間の間隔を狭くすることができ、結果的に光学特性計測の測定精度を向上させることができるとなる。

従って、第 4 の光学特性計測方法によれば、短時間で、精度及び再現性良く

投影光学系の光学特性を計測することができる。

この場合において、前記第2工程では、前記複数の領域の少なくとも一部の複数の領域について、領域毎に全てのピクセルデータの加算値、微分総和値、分散及び標準偏差の少なくとも1つを代表値とし、該代表値と所定の閾値とを比較して前記計測用パターンの像の形成状態を検出することとすることもできる。

あるいは、前記第2工程では、前記複数の領域の少なくとも一部の複数の領域について、領域毎に一部のピクセルデータの加算値、微分総和値、分散及び標準偏差の少なくとも1つを代表値とし、該代表値と所定の閾値とを比較して前記計測用パターンの像の形成状態を検出することとすることもできる。

この場合において、前記一部のピクセルデータは、前記各領域内の指定範囲内におけるピクセルデータであり、前記代表値は、前記ピクセルデータの加算値、微分総和値、分散及び標準偏差のいずれかであることとすることもできる。

この場合において、前記指定範囲は、前記各領域内における前記計測用パターンの配置に応じて定められた前記各領域の部分領域であることとすることもできる。

本発明の第4の光学特性計測方法において、前記第2工程では、異なる複数の閾値と前記代表値とを比較して閾値毎に前記計測用パターンの像の形成状態を検出し、前記第3工程では、前記閾値毎に求めた前記検出結果に基づいて光学特性を計測することとすることもできる。

本発明の第4の光学特性計測方法において、前記第2工程は、前記複数の領域の少なくとも一部の複数の領域について、領域毎に全てのピクセルデータの加算値、微分総和値、分散及び標準偏差の少なくとも1つを代表値とし、該代表値と所定の閾値とを比較して前記計測用パターンの像の第1の形成状態を検出する第1検出工程と；前記複数の領域の少なくとも一部の複数の領域について、領域毎に一部のピクセルデータの加算値、微分総和値、分散及び標準偏差

の少なくとも 1 つを代表値とし、該代表値と所定の閾値とを比較して前記計測用パターンの像の第 2 の形成状態を検出する第 2 検出工程と；を含み、前記第 3 工程では、前記第 1 の形成状態の検出結果と前記第 2 の形成状態の検出結果とに基づいて、前記投影光学系の光学特性を求めることとすることができる。

この場合において、前記第 2 工程では、異なる複数の閾値と前記代表値とを比較して閾値毎に前記計測用パターンの像の第 1 の形成状態及び第 2 の形成状態をそれぞれ検出し、前記第 3 工程では、前記閾値毎に求めた前記第 1 の形成状態及び第 2 の形成状態の検出結果に基づいて光学特性を計測することとすることができる。

本発明の第 4 の光学特性計測方法では、露光条件としては種々のものが考えられるが、前記露光条件は、前記投影光学系の光軸方向に関する前記物体の位置及び前記物体上に照射されるエネルギー ビームのエネルギー量の少なくとも一方を含むこととすることができる。

本発明の第 4 の光学特性計測方法において、前記第 1 工程では、前記投影光学系の光軸方向に関する前記物体の位置と前記物体上に照射されるエネルギー ビームのエネルギー量をそれぞれ変更しながら、前記計測用パターンの像を前記物体上の複数の領域に順次転写し、前記第 2 工程では、前記投影光学系の光軸方向に関する位置毎に前記像の形成状態を検出し、前記第 3 工程では、その像が検出された前記エネルギー ビームのエネルギー量と前記投影光学系の光軸方向に関する位置との相関関係により最良フォーカス位置を決定することとことができる。

本発明は、第 5 の観点からすると、露光用のエネルギー ビームをマスクに照射し、前記マスクに形成されたパターンを投影光学系を介して物体上に転写する露光方法であって、本発明の第 1 ～ 第 4 の光学特性計測方法のいずれかによつて計測された前記光学特性を考慮して前記投影光学系を調整する工程と；前記調整された投影光学系を介して前記マスクに形成されたパターンを前記物体上

に転写する工程と；を含む露光方法である。

これによれば、本発明の第1～第4の光学特性計測方法のいずれかによって計測された投影光学系の光学特性を考慮して最適な転写が行えるように投影光学系が調整され、その調整された投影光学系を介してマスクに形成されたパターンを物体上に転写するので、微細パターンを物体上に高精度に転写することができる。

また、リソグラフィ工程において、本発明の露光方法を用いることにより、物体上に微細パターンを物体上に精度良く転写することができ、これにより、より高集積度のマイクロデバイスを歩留まり良く製造することができる。従つて、本発明は更に別の観点からすると、本発明の露光方法を用いるデバイス製造方法であるとも言える。

#### BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS

In the accompanying drawings :

図1は、本発明の第1の実施形態に係る露光装置の概略構成を示す図である；

図2は、図1の照明系IOPの具体的構成の一例を説明するための図である；

図3は、第1の実施形態において、投影光学系の光学特性の計測に用いられるレチクルの一例を示す図である；

図4は、第1の実施形態における主制御装置内CPUの光学特性の計測時の処理アルゴリズムを示すフローチャート（その1）である；

図5は、第1の実施形態におけるCPUの光学特性の計測時の処理アルゴリズムを示すフローチャート（その2）である；

図6は、第1領域を構成する区画領域の配列を説明するための図である；

図7は、ウエハWT上に第1領域DCnが形成された状態を示す図である；

図8は、ウエハWT上に評価点対応領域DBnが形成された状態を示す図で

ある；

図9は、ウエハ $W_T$ を現像後にウエハ $W_T$ 上に形成された評価点対応領域 $D_{B_1}$ のレジスト像の一例を示す図である；

図10は、図5のステップ456（光学特性の算出処理）の詳細を示すフローチャート（その1）である；

図11は、図5のステップ456（光学特性の算出処理）の詳細を示すフローチャート（その2）である；

図12は図10のステップ508の詳細を示すフローチャートである；

図13は、図12のステップ702の詳細を示すフローチャートである；

図14Aは、ステップ508の処理を説明するための図、図14Bは、ステップ510の処理を説明するための図、図14Cはステップ512の処理を説明するための図である；

図15Aは、ステップ514の処理を説明するための図、図15Bは、ステップ516の処理を説明するための図、図15Cは、ステップ518の処理を説明するための図である；

図16は、外枠検出における境界検出処理を説明するための図である；

図17は、ステップ514の頂点検出を説明するための図である；

図18は、ステップ516の長方形検出を説明するための図である；

図19は、第1の実施形態における像形成状態の検出結果の一例をテーブルデータ形式で示す図である；

図20は、パターン残存数（露光エネルギー量）とフォーカス位置との関係を示す図である；

図21A～図21Cは、境界検出に微分データを用いる場合の変形例を説明するための図である；

図22は、本発明の第2の実施形態において、投影光学系の光学特性の計測に用いられるレチクルに形成された計測用パターンを説明するための図であ

る；

図23は、第2の実施形態に係る主制御装置内CPUの光学特性の計測時の処理アルゴリズムを示すフローチャートである；

図24は、図23のステップ956（光学特性の算出処理）の詳細を説明するためのフローチャートである；

図25は、第2の実施形態におけるウェハWT上の評価点対応領域を構成する区画領域の配置を示す図である；

図26は、各区画領域における各パターンの撮像データ領域を説明するための図である；

図27は、第2の実施形態において、第1パターンCA1の像の形成状態の検出結果の一例をテーブルデータ形式で示す図である；

図28は、パターン残存数（露光エネルギー量）とフォーカス位置との関係を、第1段階の近似曲線とともに示す図である；

図29は、露光エネルギー量とフォーカス位置との関係とともに第2段階の近似曲線を示す図である；

図30は、各区画領域における各パターンの撮像データ領域（サブ領域）を説明するための図である；

図31は、第2の実施形態の変形例を説明するための図であって、複数の閾値における、露光エネルギー量とフォーカス位置との関係を示す図である；

図32は、第2の実施形態の別の変形例を説明するための図であって、閾値とフォーカス位置との関係を示す図である；

図33は、第2の実施形態のその他の変形例を説明するための図であって、山形が複数含まれるような图形（偽解像を含む图形）の一例を示す図である；

図34は、本発明に係るデバイス製造方法の実施形態を説明するためのフローチャートである； and

図35は、図34のステップ304における処理の一例を示すフローチャー

トである。

## DETAILED DESCRIPTION OF THE PREFERRED EMBODIMENTS

### 《第1の実施形態》

以下、本発明の第1の実施形態を図1～図20に基づいて説明する。

図1には、本発明に係る光学特性計測方法及び露光方法を実施するのに好適な第1の実施形態に係る露光装置100の概略的な構成が示されている。この露光装置100は、ステップ・アンド・リピート方式の縮小投影露光装置（いわゆるステッパ）である。

この露光装置100は、照明系IOP、マスクとしてのレチクルRを保持するレチクルステージRST、レチクルRに形成されたパターンの像を感光剤（フォトレジスト）が塗布された物体としてのウエハW上に投影する投影光学系PL、ウエハWを保持して2次元平面（XY平面内）を移動するXYステージ20、XYステージ20を駆動する駆動系22、及びこれらの制御系等を備えている。この制御系は装置全体を統括制御するマイクロコンピュータ（あるいはワークステーション）などから成る主制御装置28を中心として構成されている。

前記照明系IOPは、図2に示されるように、光源1、ビーム整形光学系2、エネルギー粗調器3、オプティカルインテグレータ（ホモジナイザ）4、照明系開口絞り板5、ビームスプリッタ6、第1リレーレンズ7A、第2リレーレンズ7B、レチクルブラインド8等を備えている。なお、オプティカルインテグレータとしては、フライアイレンズ、ロッド型（内面反射型）インテグレータ、あるいは回折光学素子などを用いることができる。本実施形態では、オプティカルインテグレータ4としてフライアイレンズが用いられているので、以下では、フライアイレンズ4とも呼ぶ。

ここで、この照明系IOPの上記構成各部について説明する。光源1として

は、KrFエキシマレーザ（発振波長248nm）やArFエキシマレーザ（発振波長193nm）等が使用される。光源1は、実際には、露光装置本体が設置されるクリーンルーム内の床面、あるいは該クリーンルームとは別のクリーン度の低い部屋（サービスルーム）等に設置され、不図示の引き回し光学系を介してビーム整形光学系の入射端に接続されている。

前記ビーム整形光学系2は、光源1からパルス発光されたレーザビームLBの断面形状を、該レーザビームLBの光路後方に設けられたフライアイレンズ4に効率よく入射するように整形するもので、例えばシリンドレンズやビームエキスパンダ（いずれも図示省略）等で構成される。

前記エネルギー粗調器3は、ビーム整形光学系2後方のレーザビームLBの光路上に配置され、ここでは、回転板31の周囲に透過率（=1-減光率）の異なる複数個（例えば6個）のNDフィルタ（図2ではその内の2個のNDフィルタ32A、32Dのみが示されている）を配置し、その回転板31を駆動モータ33で回転することにより、入射するレーザビームLBに対する透過率を100%から等比級数的に複数段階で切り換えることができるようになっている。駆動モータ33は、主制御装置28によって制御される。

前記フライアイレンズ4は、エネルギー粗調器3後方のレーザビームLBの光路上に配置され、レチクルRを均一な照度分布で照明するためにその射出側焦点面に多数の点光源（光源像）から成る面光源、すなわち2次光源を形成する。この2次光源から射出されるレーザビームを以下においては、「パルス照明光IL」と呼ぶものとする。

前記フライアイレンズ4の射出側焦点面の近傍に、円板状部材から成る照明系開口絞り板5が配置されている。この照明系開口絞り板5には、ほぼ等角度間隔で、例えば通常の円形開口より成る開口絞り、小さな円形開口より成りコヒーレンスファクタである $\sigma$ 値を小さくするための開口絞り（小 $\sigma$ 絞り）、輪帶照明用の輪帶状の開口絞り（輪帶絞り）、及び変形光源法用に複数の開口を偏心

させて配置して成る変形開口絞り（図2ではこのうちの2種類の開口絞りのみが図示されている）等が配置されている。この照明系開口絞り板5は、主制御装置28により制御されるモータ等の駆動装置51により回転されるようになっており、これによりいずれかの開口絞りがパルス照明光ILの光路上に選択的に設定される。なお、照明系開口絞り板5の代わりに、あるいはそれと組み合わせて、例えば照明光学系内に交換して配置される複数の回折光学素子、照明光学系の光軸に沿って可動なプリズム（円錐プリズム又は多面体プリズムなど）、及びズーム光学系の少なくとも1つを含む光学ユニットを、光源1とオプティカルインテグレータ4との間に配置し、照明光学系の瞳面上での照明光ILの光量分布（2次光源の大きさや形状）、すなわちレチクルRの照明条件の変更に伴う光量損失を抑えることが好ましい。

照明系開口絞り板5後方のパルス照明光ILの光路上に、反射率が小さく透過率の大きなビームスプリッタ6が配置され、更にこの後方の光路上に、レチクルブラインド8を介在させて第1リレーレンズ7A及び第2リレーレンズ7Bから成るリレー光学系が配置されている。

レチクルブラインド8は、レチクルRのパターン面に対する共役面に配置され、例えば2枚のL字型の可動ブレード、あるいは上下左右に配置された4枚の可動ブレードから成り、可動ブレード同士で囲まれて形成される開口がレチクルR上の照明領域を規定する。この場合、各可動ブレードの位置を調整することにより、開口の形状を任意の矩形状に設定することが可能である。各可動ブレードは、例えばレチクルRのパターン領域の形状に併せて不図示のブラインド駆動装置を介して主制御装置28によって駆動制御されるようになっている。

リレー光学系を構成する第2リレーレンズ7B後方のパルス照明光ILの光路上には、当該第2リレーレンズ7Bを通過したパルス照明光ILをレチクルRに向けて反射する折り曲げミラーMが配置されている。

一方、ビームスプリッタ 6 による反射光路上には、集光レンズ 5 2 を介して光電変換素子よりなるインテグレータセンサ 5 3 が配置されている。このインテグレータセンサ 5 3 としては、例えば遠紫外域で感度があり、且つ光源ユニット 1 のパルス発光を検出するために高い応答周波数を有する P I N 型のフォトダイオード等が使用できる。このインテグレータセンサ 5 3 の出力 D P と、ウエハ W の表面上でのパルス照明光 I L の照度（強度）との相関係数（又は相関関数）は予め求められて、主制御装置 2 8 内部の記憶装置内に記憶されている。

このようにして構成された照明系 I O P の作用を簡単に説明すると、光源 1 からパルス発光されたレーザビーム L B は、ビーム整形光学系 2 に入射して、ここで後方のフライアイレンズ 4 に効率よく入射するようにその断面形状が整形された後、エネルギー粗調器 3 に入射する。そして、このエネルギー粗調器 3 のいずれかの N D フィルタを透過したレーザビーム L B は、フライアイレンズ 4 に入射する。これにより、フライアイレンズ 4 の射出側焦点面に多数の点光源（光源像）より成る面光源、すなわち 2 次光源が形成される。この 2 次光源から射出されたパルス照明光 I L は、照明系開口絞り板 5 上のいずれかの開口絞りを通過した後、透過率が大きく反射率が小さなビームスプリッタ 6 に至る。このビームスプリッタ 6 を透過した露光光としてのパルス照明光 I L は、第 1 リレーレンズ 7 A を経てレチクルブラインド 8 の矩形の開口部を通過した後、第 2 リレーレンズ 7 B を通過してミラー M によって光路が垂直下方に折り曲げられた後、レチクルステージ R S T 上に保持されたレチクル R 上の矩形（例えば正方形）の照明領域を均一な照度分布で照明する。

一方、ビームスプリッタ 6 で反射されたパルス照明光 I L は、集光レンズ 5 2 を介して光電変換素子よりなるインテグレータセンサ 5 3 で受光され、インテグレータセンサ 5 3 の光電変換信号が、不図示のピークホールド回路及び A / D 変換器を介して出力 D P (digit/pulse) として主制御装置 2 8 に供給され

る。

図1に戻り、前記レチクルステージRSTは、照明系IOPの図1における下方に配置されている。このレチクルステージRST上には不図示のバキュームチャック等を介してレチクルRが吸着保持されている。レチクルステージRSTは、不図示の駆動系によってX軸方向（図1における紙面左右方向）、Y軸方向（図1における紙面直交方向）及び $\theta_z$ 方向（XY面に直交するZ軸回りの回転方向）に微小駆動可能とされている。これにより、レチクルステージRSTは、レチクルRのパターンの中心（レチクルセンタ）が投影光学系PLの光軸AXpとほぼ一致する状態でレチクルRを位置決め（レチクルアライメント）できるようになっている。図1では、このレチクルアライメントが行われた状態が示されている。

前記投影光学系PLは、レチクルステージRSTの図1における下方に、その光軸AXpの方向がXY面に直交するZ軸方向となるように配置されている。この投影光学系PLとしては、ここでは両側テレセントリックな縮小系であつて、Z軸方向の共通の光軸AXpを有する複数枚のレンズエレメント（図示省略）から成る屈折光学系が用いられている。レンズエレメントのうちの特定の複数枚は、主制御装置28からの指令に基づいて、図示しない結像特性補正コントローラによって制御され、投影光学系PLの光学特性（結像特性を含む）、例えば倍率、ディストーション、コマ収差、及び像面湾曲などを調整できるようになっている。

この投影光学系PLの投影倍率は、例えば1/5（あるいは1/4）などとされている。このため、レチクルRのパターンとウエハW上の被露光領域との位置合わせ（アライメント）が行われた状態で、パルス照明光ILによりレチクルRが均一な照度で照明されると、レチクルRのパターンが投影光学系PLにより縮小されて、フォトレジストが塗布されたウエハW上に投影され、ウエハW上の被露光領域にパターンの縮小像が形成される。

前記X Yステージ20は、実際には不図示のベース上をY軸方向に移動するYステージと、このYステージ上をX軸方向に移動するXステージとで構成されているが、図1ではこれらが代表的にX Yステージ20として示されている。このX Yステージ20上にウエハテーブル18が搭載され、このウエハテーブル18上に不図示のウエハホルダを介してウエハWが真空吸着等によって保持されている。

前記ウエハテーブル18は、ウエハWを保持するウエハホルダをZ軸方向及びX Y面に対する傾斜方向に微小駆動するもので、Z・チルトステージとも称される。このウエハテーブル18の上面には、移動鏡24が設けられており、この移動鏡24にレーザビームを投射して、その反射光を受光することにより、ウエハテーブル18のX Y面内の位置を計測するレーザ干渉計26が移動鏡24の反射面に対向して設けられている。なお、実際には、移動鏡はX軸に直交する反射面を有するX移動鏡と、Y軸に直交する反射面を有するY移動鏡とが設けられ、これに対応してレーザ干渉計もX方向位置計測用のXレーザ干渉計とY方向位置計測用のYレーザ干渉計とが設けられているが、図1ではこれらが代表して移動鏡24、レーザ干渉計26として図示されている。また、移動鏡24の代わりにウエハテーブル18の端面を鏡面加工して反射面としても良い。なお、Xレーザ干渉計及びYレーザ干渉計は測長軸を複数有する多軸干渉計であり、ウエハテーブル18のX、Y位置の他、回転（ヨーイング（Z軸回りの回転である $\theta_z$ 回転）、ピッキング（X軸回りの回転である $\theta_x$ 回転）、ローリング（Y軸回りの回転である $\theta_y$ 回転））も計測可能となっている。従って、以下の説明ではレーザ干渉計26によって、ウエハテーブル18のX、Y、 $\theta_z$ 、 $\theta_y$ 、 $\theta_x$ の5自由度方向の位置が計測されるものとする。

レーザ干渉計26の計測値は主制御装置28に供給され、主制御装置28はこのレーザ干渉計26の計測値に基づいて駆動系22を介してX Yステージ20を制御することにより、ウエハテーブル18を位置決めする。

また、ウエハW表面のZ軸方向の位置及び傾斜量は、例えば特開平5-190423号公報及びこれに対応する米国特許第5,502,311号等に開示される送光系50a及び受光系50bを有する斜入射方式の多点焦点位置検出系から成るフォーカスセンサAFSによって計測されるようになっている。このフォーカスセンサAFSの計測値も主制御装置28に供給されており、主制御装置28は、フォーカスセンサAFSの計測値に基づいて駆動系22を介してウエハテーブル18をZ方向、 $\theta_x$ 方向及び $\theta_y$ 方向に駆動して、投影光学系PLの光軸方向に関するウエハWの位置及び傾きを制御するようになっている。本国際出願で指定した指定国又は選択した選択国の国内法令が許す限りにおいて、上記公報及び米国特許における開示を援用して本明細書の記載の一部とする。

このようにしてウエハテーブル18を介してウエハWがX、Y、Z、 $\theta_x$ 、 $\theta_y$ の5自由度方向の位置及び姿勢制御がなされるようになっている。なお、残りの $\theta_z$ （ヨーイング）の誤差については、レーザ干渉計26で計測されたウエハテーブル18のヨーイング情報に基づいてレチクルステージ\_RSTとウエハテーブル18との少なくとも一方を回転させることによって補正される。

また、ウエハテーブル18上には、その表面がウエハWの表面と同じ高さになるような基準板FPが固定されている。この基準板FPの表面には、後述するアライメント検出系のいわゆるベースライン計測等に用いられる基準マークを含む各種の基準マークが形成されている。

更に、本実施形態では、投影光学系PLの側面に、ウエハWに形成されたアライメントマークを検出するマーク検出系としてのオフ・アクシス方式のアライメント検出系ASが設けられている。このアライメント検出系ASは、LSA (Laser Step Alignment) 系、FIA (Field Image Alignment) 系と呼ばれるアライメントセンサを有しており、基準板FP上の基準マーク及びウエハ上のアライメントマークのX、Y 2次元方向の位置計測を行なうことが可能で

ある。

ここで、LSA系は、レーザ光をマークに照射して、回折・散乱された光を利用してマーク位置を計測する最も汎用性のあるセンサであり、従来から幅広いプロセスウェハに使用されている。FIA系は、ハロゲンランプ等のプロードバンド（広帯域）光でマークを照明し、このマーク画像を画像処理することによってマーク位置を計測する画像処理方式の結像式アライメントセンサであり、アルミ層やウェハ表面の非対称マークに有効に使用される。

本実施形態では、これらのアライメントセンサを、適宜目的に応じて使い分け、ウェハ上の各被露光領域の正確な位置計測を行なうファインアライメント等を行なうようになっている。この他、アライメント検出系ASとして、例えばコヒーレントな検出光を対象マークに照射し、その対象マークから発生する2つの回折光（例えば同次数）を干渉させて検出するアライメントセンサを単独で、あるいは上記FIA系、LSA系などと適宜組み合わせて用いることは可能である。

アライメント制御装置16は、アライメント検出系ASを構成する各アライメントセンサからの情報DSをA/D変換し、このデジタル化された波形信号を演算処理してマーク位置を検出する。この結果は、アライメント制御装置16から主制御装置28に供給されるようになっている。

さらに、本実施形態の露光装置100では、図示が省略されているが、レチクルRの上方に、例えば特開平7-176468号公報及びこれに対応する米国特許第5,646,413号等に開示される、投影光学系PLを介してレチクルR上のレチクルマーク又はレチクルステージRST上の基準マーク（共に図示省略）と基準板FP上のマークとを同時に観察するための露光波長の光を用いたTTR(Through The Reticle)アライメント系から成る一対のレチクルアライメント顕微鏡が設けられている。これらのレチクルアライメント顕微鏡の検出信号は、アライメント制御装置16を介して主制御装置28に供給され

るようになっている。本国際出願で指定した指定国又は選択した選択国の国内法令が許す限りにおいて、上記公報及び米国特許における開示を援用して本明細書の記載の一部とする。

次に、本発明に係る投影光学系の光学特性を計測するのに用いられるレチクルの一例について説明する。

図3には、投影光学系PLの光学特性を計測するのに用いられるレチクルRTの一例が示されている。この図3は、レチクルRTをパターン面側（図1における下面側）から見た平面図である。この図3に示されるように、レチクルRTは、ほぼ正方形のマスク基板としてのガラス基板42の中央に、クロム等の遮光部材から成るパターン領域PAが形成されている。このパターン領域PAの中心（すなわちレチクルRTの中心（レチクルセンタ）に一致）及び4隅の部分の合計5箇所に、例えば20μm角の開口パターン（透過領域）AP1～AP5が形成され、当該各開口パターンの中央部にラインアンドスペースパターン（L/Sパターン）から成る計測用パターンMP1～MP5がそれぞれ形成されている。計測用パターンMPn（n=1～5）のそれぞれは、一例としてX軸方向を周期方向とし、線幅約1.3μm、長さ約12μm程度の5本のラインパターン（遮光部）が、ピッチ約2.6μmで配列されたマルチバーパターンによって構成されている。このため、本実施形態では、開口パターンAPnと中心を同じくする、該各開口パターンAPnの約60%の縮小領域部分に計測用パターンMPnがそれぞれ配置されている。

なお、本実施形態では各計測用パターンをY軸方向に細長く延びるバーパターン（ラインパターン）で構成するものとしたが、このバーパターンはX軸方向とY軸方向とでそのサイズが異なれば良い。

また、前述のレチクルセンタを通るパターン領域PAのX軸方向の両側には、一対のレチクルアライメントマークRM1, RM2が形成されている。

次に、本実施形態の露光装置100における投影光学系PLの光学特性の計

測方法について、主制御装置 28 内の CPU の処理アルゴリズムを簡略化して示す図 4 及び図 5 のフローチャートに沿って、かつ適宜他の図面を用いて説明する。

先ず、図 4 のステップ 402において、不図示のレチクルローダを介してレチクルステージ RST 上にレチクル RT をロードするとともに、不図示のウェハローダを介してウェハ WT をウェハテーブル 18 上にロードする。なお、ウェハ WT には、その表面にポジ型のフォトレジストで感光層が形成されているものとする。

次のステップ 404において、レチクルアライメント、レチクルブラインドの設定などの所定の準備作業を行う。具体的には、まず、ウェハテーブル 18 上に設けられた基準板 FP の表面に形成されている一対の基準マーク(不図示)の中点が投影光学系 PL の光軸とほぼ一致するように、レーザ干渉計 26 の計測結果をモニタしつつ駆動系 22 を介して XYステージ 20 を移動する。次いで、レチクル RT の中心(レチクルセンタ)が投影光学系 PL の光軸とほぼ一致するように、レチクルステージ RST の位置を調整する。このとき、例えば、前述のレチクルアライメント顕微鏡(不図示)により投影光学系 PL を介してレチクルアライメントマーク RM1, RM2 と対応する前記基準マークとの相対位置を検出する。そして、レチクルアライメント顕微鏡によって検出された前記相対位置の検出結果に基づいてレチクルアライメントマーク RM1, RM2 と対応する前記基準マークとの相対位置誤差がともに最小となるように不図示の駆動系を介してレチクルステージ RST の XY面内の位置を調整する。これにより、レチクル RT の中心(レチクルセンタ)が投影光学系 PL の光軸と正確にほぼ一致するとともにレチクル RT の回転角もレーザ干渉計 26 の測長軸で規定される直交座標系の座標軸に正確に一致する。すなわち、レチクルアライメントが完了する。

また、照明光 IL の照射領域がレチクル RT のパターン領域 PA にほぼ一致

するように、照明系 IOP 内のレチクルブラインド 8 の開口の大きさ及び位置を調整する。

このようにして、所定の準備作業が終了すると、次のステップ 406 に移行して、後述する第 1 領域の露光終了判定用のフラグ F を立てる ( $F \leftarrow 1$ )。

次のステップ 408 では、露光エネルギー量 (ウエハ  $W_T$  上に照射される照明光  $I_L$  の積算エネルギー量に相当し、露光ドーズ量とも呼ばれる) の目標値を初期化する。すなわち、カウンタ  $j$  に初期値「1」を設定して露光エネルギー量の目標値  $P_j$  を  $P_1$  に設定する ( $j \leftarrow 1$ )。本実施形態では、カウンタ  $j$  は、露光エネルギー量の目標値の設定とともに、露光の際のウエハ  $W_T$  の行方向の移動目標位置の設定にも用いられる。なお、本実施形態では、例えばフォトレジストの感度特性から定まる最適な露光エネルギー量 (予想値など) を中心として、露光エネルギー量を  $P_1$  から  $\Delta P$  刻みで  $P_N$  (一例として  $N = 23$ ) まで変化させる ( $P_j = P_1 \sim P_{23}$ )。

次のステップ 410 では、ウエハ  $W_T$  のフォーカス位置 (Z 軸方向の位置) の目標値を初期化する。すなわち、カウンタ  $i$  に初期値「1」を設定してウエハ  $W_T$  のフォーカス位置の目標値  $Z_i$  を  $Z_1$  に設定する ( $i \leftarrow 1$ )。本実施形態では、カウンタ  $i$  は、ウエハ  $W_T$  のフォーカス位置の目標値の設定とともに、露光の際のウエハ  $W_T$  の列方向の移動目標位置の設定にも用いられる。なお、本実施形態では、例えば投影光学系  $PL$  に関する既知の最良フォーカス位置 (設計値など) を中心として、ウエハ  $W_T$  のフォーカス位置を  $Z_1$  から  $\Delta Z$  刻みで  $Z_M$  (一例として  $M = 13$ ) まで変化させる ( $Z_i = Z_1 \sim Z_{13}$ )。

従って、本実施形態では、投影光学系  $PL$  の光軸方向に関するウエハ  $W_T$  の位置とウエハ  $W_T$  上に照射されるパルス照明光  $I_L$  のエネルギー量をそれぞれ変更しながら、計測用パターン  $MP_n$  ( $n = 1 \sim 5$ ) をウエハ  $W_T$  上に順次転写するための、 $N \times M$  (一例として  $23 \times 13 = 299$ ) 回の露光が行われることになる。投影光学系  $PL$  の視野内の各評価点に対応するウエハ  $W_T$  上の領域

(以下「評価点対応領域」という)  $DB_1 \sim DB_5$  の内の後述する第1領域  $DC_1 \sim DC_5$  (図7及び図8参照) には、 $N \times M$  個の計測用パターン  $MP_n$  が転写されることとなる。

ここで、評価点対応領域  $DB_n$  ( $n = 1 \sim 5$ ) 内の第1領域  $DC_n$  としているのは、本実施形態では、各評価点対応領域  $DB_n$  は、上記の  $N \times M$  個の計測用パターン  $MP_n$  が転写される矩形の第1領域  $DC_n$  と、該第1領域を囲む矩形枠状の第2領域  $DD_n$  とによって構成されるからである (図8参照)。

なお、この評価点対応領域  $DB_n$  (すなわち第1領域  $DC_n$ ) は、投影光学系  $PL$  の視野内でその光学特性を検出すべき複数の評価点に対応している。

ここで、説明は前後するが、便宜上、後述する露光によって、計測用パターン  $MP_n$  が転写されるウエハ  $WT$  上の各第1領域  $DC_n$  について、図6を用いて説明する。この図6に示されるように、本実施形態では、 $M$  行  $N$  列 ( $13$  行  $23$  列) のマトリックス状に配置された  $M \times N$  ( $= 23 \times 13 = 299$ ) 個の仮想の区画領域  $DA_{i,j}$  ( $i = 1 \sim M$ ,  $j = 1 \sim N$ ) に計測用パターン  $MP_n$  がそれぞれ転写され、これら計測用パターン  $MP_n$  がそれぞれ転写された  $M \times N$  個の区画領域  $DA_{i,j}$  から成る第1領域  $DC_n$  がウエハ  $WT$  上に形成される。なお、仮想の区画領域  $DA_{i,j}$  は、図6に示されるように、 $+X$  方向が行方向 ( $j$  の増加方向) となり、 $+Y$  方向が列方向 ( $i$  の増加方向) となるように配列されている。また、以下の説明において用いられる添え字  $i$ ,  $j$ 、及び  $M$ ,  $N$  は、上述と同じ意味を有するものとする。

図4に戻り、次のステップ412では、ウエハ  $WT$  上の各評価点対応領域  $DB_n$  の仮想の区画領域  $DA_{i,j}$  (ここでは  $DA_{1,1}$  (図7参照)) に計測用パターン  $MP_n$  の像がそれぞれ転写される位置に、レーザ干渉計26の計測値をモニタしつつ駆動系22を介してXYステージ20 (ウエハ  $WT$ ) を移動する。

次のステップ414では、ウエハ  $WT$  のフォーカス位置が設定された目標値  $Z_i$  (この場合  $Z_1$ ) と一致するように、フォーカスセンサAFSからの計測値

をモニタしながらウエハテーブル 18 を  $Z$  軸方向及び傾斜方向に微少駆動する。

次のステップ 416 では、露光を実行する。このとき、ウエハ  $W_T$  上の一点における露光エネルギー量（露光量）が設定された目標値（この場合  $P_1$ ）となるように、露光量制御を行う。この露光エネルギー量は、照明光  $I_L$  のパルスエネルギー量と、各区画領域の露光時にウエハ上に照射される照明光  $I_L$  のパルス数との少なくとも一方を変更することで調整できるので、その制御方法としては、例えば、次の第 1～第 3 の方法を、単独で、あるいは適宜組み合わせて用いることができる。

すなわち、第 1 の方法として、パルスの繰り返し周波数を一定に維持し、エネルギー粗調器 3 を用いてレーザビーム  $L_B$  の透過率を変化させ像面（ウエハ面）に与えられる照明光  $I_L$  のエネルギー量を調整する。第 2 の方法として、パルスの繰り返し周波数を一定に維持し、光源 1 に指示を与えてレーザビーム  $L_B$  の 1 パルス当たりのエネルギーを変化させることにより像面（ウエハ面）に与えられる照明光  $I_L$  のエネルギー量を調整する。第 3 の方法として、レーザビーム  $L_B$  の透過率及びレーザビーム  $L_B$  の 1 パルス当たりのエネルギーを一定に維持し、パルスの繰り返し周波数を変更することによって、像面（ウエハ面）に与えられる照明光  $I_L$  のエネルギー量を調整する。

これにより、図 7 に示されるように、ウエハ  $W_T$  上の各第 1 領域  $D C_n$  の区画領域  $D A_{1,1}$  にそれぞれ計測用パターン  $M P_n$  の像が転写される。

図 4 に戻り、上記ステップ 416 の露光が終了すると、ステップ 418 において、前述のフラグ  $F$  が立っているか、すなわち  $F = 1$  であるか否かを判断する。この場合、前述したステップ 406 でフラグ  $F$  が立てられているので、ここでの判断は肯定され、次のステップ 420 に移行する。

ステップ 420 では、ウエハ  $W_T$  のフォーカス位置の目標値が  $Z_M$  以上であるか否かを判断することにより、所定の  $Z$  範囲での露光が終了したか否かを判断する。ここでは、最初の目標値  $Z_1$  での露光が終了しただけなので、ステッ

ステップ422に移行し、カウンタ  $i$  を1インクリメントする ( $i \leftarrow i + 1$ ) とともに、ウエハ  $W_T$  のフォーカス位置の目標値に  $\Delta Z$  を加算する ( $Z_i \leftarrow Z + \Delta Z$ )。ここでは、フォーカス位置の目標値を  $Z_2$  ( $= Z_1 + \Delta Z$ ) に変更した後、ステップ412に戻る。このステップ412において、ウエハ  $W_T$  上の各第1領域  $D C_n$  の区画領域  $D A_{2,1}$  に計測用パターン  $M P_n$  の像がそれぞれ転写される位置にウエハ  $W_T$  が位置決めされるように、XYステージ20を所定のステップピッチ  $S P$  だけXY面内で所定方向（この場合-Y方向）に移動する。ここで、本実施形態では、上記のステップピッチ  $S P$  が、各開口パターン  $A P_n$  のウエハ  $W_T$  上の投影像の寸法とほぼ一致する約  $5 \mu m$  に設定されている。なお、ステップピッチ  $S P$  は、約  $5 \mu m$  に限らないが、 $5 \mu m$  すなわち各開口パターン  $A P_n$  のウエハ  $W_T$  上の投影像の寸法以下であることが望ましい。この理由については後述する。

次のステップ414では、ウエハ  $W_T$  のフォーカス位置が目標値（この場合  $Z_2$ ）と一致するように、ウエハテーブル18を  $\Delta Z$  だけ光軸  $A X p$  の方向にステップ移動し、ステップ416において前述と同様にして露光を行い、ウエハ  $W_T$  上の各第1領域  $D C_n$  の区画領域  $D A_{2,1}$  に計測用パターン  $M P_n$  の像をそれぞれ転写する。

以後、ステップ420における判断が肯定されるまで、すなわちそのとき設定されているウエハ  $W_T$  のフォーカス位置の目標値が  $Z_M$  であると判断されるまで、ステップ  $418 \rightarrow 420 \rightarrow 422 \rightarrow 412 \rightarrow 414 \rightarrow 416$  のループの処理（判断を含む）を繰り返す。これにより、ウエハ  $W_T$  上の各第1領域  $D C_n$  の区画領域  $D A_{i,1}$  ( $i = 3 \sim M$ ) に計測用パターン  $M P_n$  がそれぞれ転写される。

一方、区画領域  $D A_{M,1}$  に対する露光が終了し、上記ステップ420における判断が肯定されると、ステップ424に移行し、そのとき設定されている露光エネルギー量の目標値が  $P_N$  以上であるか否かを判断する。ここでは、そのと

き設定されている露光エネルギー量の目標値は  $P_1$  であるため、このステップ 4 2 4 における判断は、否定され、ステップ 4 2 6 に移行する。

ステップ 4 2 6 では、カウンタ  $j$  を 1 インクリメントする ( $j \leftarrow j + 1$ ) とともに、露光エネルギー量の目標値に  $\Delta P$  を加算する ( $P_j \leftarrow P_j + \Delta P$ )。ここでは、露光エネルギー量の目標値を  $P_2$  ( $= P_1 + \Delta P$ ) に変更した後、ステップ 4 1 0 に戻る。

その後、ステップ 4 1 0 においてウエハ  $W_T$  のフォーカス位置の目標値が初期化された後、ステップ 4 1 2  $\rightarrow$  4 1 4  $\rightarrow$  4 1 6  $\rightarrow$  4 1 8  $\rightarrow$  4 2 0  $\rightarrow$  4 2 2 のループの処理（判断を含む）を繰り返す。このループの処理は、ステップ 4 2 0 における判断が肯定されるまで、すなわち露光エネルギー量の目標値  $P_2$  での、所定のウエハ  $W_T$  のフォーカス位置範囲 ( $Z_1 \sim Z_M$ ) についての露光が終了するまで、繰り返される。これにより、ウエハ  $W_T$  上の各第 1 領域  $D C_n$  の区画領域  $D A_{i,2}$  ( $i = 1 \sim M$ ) に計測用パターン  $M P_n$  の像が順次転写される。

一方、露光エネルギー量の目標値  $P_2$  での、所定のウエハ  $W_T$  のフォーカス位置範囲 ( $Z_1 \sim Z_M$ ) についての露光が終了すると、ステップ 4 2 0 における判断が肯定され、ステップ 4 2 4 に移行し、設定されている露光エネルギー量の目標値が  $P_N$  以上であるか否かを判断する。この場合、露光エネルギー量の目標値は  $P_2$  であるため、このステップ 4 2 4 における判断は、否定され、ステップ 4 2 6 に移行する。ステップ 4 2 6 において、カウンタ  $j$  を 1 インクリメントするとともに、露光エネルギー量の目標値に  $\Delta P$  を加算する ( $P_j \leftarrow P_j + \Delta P$ )。ここでは、露光エネルギー量の目標値を  $P_3$  に変更した後、ステップ 4 1 0 に戻る。以後、上記と同様の処理（判断を含む）を繰り返す。

このようにして、所定の露光エネルギー量の範囲 ( $P_1 \sim P_N$ ) についての露光が終了すると、ステップ 4 2 4 における判断が肯定され、図 5 のステップ 4 2 8 に移行する。これにより、ウエハ  $W_T$  上の各第 1 領域  $D C_n$  には、図 7 に示されるように、それぞれ露光条件が異なる  $N \times M$ （一例として  $23 \times 13 = 2$

99) 個の計測用パターン $MP_n$  の転写像（潜像）が形成される。なお、実際には、上述のようにして、ウエハ $WT$  上に計測用パターン $MP_n$  の転写像（潜像）が形成された $N \times M$ （一例として $23 \times 13 = 299$ ）個の区画領域が形成された段階で、各第1領域 $DC_n$  が形成されるのであるが、上記の説明では、説明を分かり易くするために、第1領域 $DC_n$  が予めウエハ $WT$  上にあるかのような説明方法を採用したものである。

図5のステップ428では、前述のフラグ $F$ が降ろされているか、すなわち $F = 0$ であるか否かを判断する。ここでは、前記ステップ406においてフラグ $F$ が立てられているので、このステップ428における判断は否定され、ステップ430に移行して、カウンタ $i, j$ をそれぞれ1インクリメントする（ $i \leftarrow i + 1, j \leftarrow j + 1$ ）。これにより、カウンタ $i = M + 1, j = N + 1$ となり、露光対象の領域が、図8に示される区画領域 $DA_{M+1, N+1} = DA_{14, 24}$ となる。

次のステップ432では、フラグ $F$ を降ろし（ $F \leftarrow 0$ ）、図4のステップ412に戻る。ステップ412では、ウエハ $WT$  上の各第1領域 $DC_n$  の区画領域 $DA_{M+1, N+1} = DA_{14, 24}$  に計測用パターン $MP_n$  の像がそれぞれ転写される位置にウエハ $WT$  を位置決めし、次のステップ414に進む。但し、このとき、ウエハ $WT$  のフォーカス位置の目標値は $Z_M$  のままなので、特に動作を行うことなく、ステップ416に進んで、区画領域 $DA_{14, 24}$  に対する露光を行う。このとき露光エネルギー量 $P$ は、最大露光量 $P_N$  で露光が行われる。

次のステップ418では、フラグ $F = 0$ となっているので、ステップ420、424をスキップして、ステップ428に移行する。このステップ428では、フラグ $F$ が降ろされているか否かを判断するが、ここでは、 $F = 0$ であるので、この判断は肯定され、ステップ434に移行する。

ステップ434では、カウンタ $i = M + 1$ 、かつカウンタ $j > 0$ を満足するか否かが判断されるが、このとき、 $i = M + 1, j = N + 1$ であるので、ここでの判断は肯定され、ステップ436に移行して、カウンタ $j$ を1デクリメン

トし ( $j \leftarrow j - 1$ )、ステップ 412 に戻る。以後、ステップ 412 → 414 → 416 → 418 → 428 → 434 → 436 のループの処理（判断を含む）を、ステップ 434 における判断が否定されるまで、繰り返し行う。これにより、図 8 に示される区画領域  $DA_{14,23}$  から  $DA_{14,0}$  まで前述の最大露光量での露光が順次行われる。

そして、区画領域  $DA_{14,0}$  に対する露光が終了すると、 $i = M + 1 (= 14)$ 、 $j = 0$  となるので、ステップ 434 における判断が否定され、ステップ 438 に移行する。このステップ 438 では、カウンタ  $i > 0$ 、かつカウンタ  $j = 0$  を満足するか否かを判断するが、このとき、 $i = M + 1$ 、 $j = 0$  であるので、ここで判断は肯定され、ステップ 440 に移行して、カウンタ  $i$  を 1 デクリメントし ( $i \leftarrow i - 1$ )、ステップ 412 に戻る。以後、ステップ 412 → 414 → 416 → 418 → 428 → 434 → 438 → 440 のループの処理（判断を含む）を、ステップ 438 における判断が否定されるまで、繰り返し行う。これにより、図 8 の区画領域  $DA_{13,0}$  から  $DA_{0,0}$  まで前述の最大露光量で露光が順次行われる。

そして、区画領域  $DA_{0,0}$  に対する露光が終了すると、 $i = 0$ 、 $j = 0$  となるので、ステップ 438 における判断が否定され、ステップ 442 に移行する。このステップ 442 では、カウンタ  $j = N + 1$  であるか否かが判断されるが、このとき、 $j = 0$  であるので、ここで判断は否定され、ステップ 444 に移行して、カウンタ  $j$  を 1 インクリメントし ( $j \leftarrow j + 1$ )、ステップ 412 に戻る。以後、ステップ 412 → 414 → 416 → 418 → 428 → 434 → 438 → 442 → 444 のループの処理（判断を含む）を、ステップ 442 における判断が肯定されるまで、繰り返し行う。これにより、図 8 の区画領域  $DA_{0,1}$  から  $DA_{0,24}$  まで前述の最大露光量で露光が順次行われる。

そして、区画領域  $DA_{0,24}$  に対する露光が終了すると、 $j = N + 1 (= 24)$  となるので、ステップ 442 における判断が肯定され、ステップ 446 に移行

する。このステップ446では、カウンタ  $i = M$  であるか否かが判断されるが、このとき、 $i = 0$  であるので、ここで判断は否定され、ステップ448に移行して、カウンタ  $i$  を1インクリメントし ( $i \leftarrow i + 1$ )、ステップ412に戻る。以後、ステップ412  $\rightarrow$  414  $\rightarrow$  416  $\rightarrow$  418  $\rightarrow$  428  $\rightarrow$  434  $\rightarrow$  438  $\rightarrow$  442  $\rightarrow$  446  $\rightarrow$  448 のループの処理（判断を含む）を、ステップ446における判断が肯定されるまで、繰り返し行う。これにより、図8の区画領域  $DA_{1,24}$  から  $DA_{13,24}$  まで前述の最大露光量で露光が順次行われる。

そして、区画領域  $DA_{13,24}$  に対する露光が終了すると、 $i = M (= 23)$  となるので、ステップ446における判断が肯定され、これにより、ウエハ  $W_T$  に対する露光が終了する。これにより、ウエハ  $W_T$  上には、図8に示されるような矩形（長方形）の第1領域  $DC_n$  と、これを取り囲む矩形枠状の第2領域  $DD_n$  とから成る、評価点対応領域  $DB_n$  ( $n = 1 \sim 5$ ) の潜像が形成される。この場合、第2領域  $DD_n$  を構成する各区画領域は、明らかに過露光（オーバードーズ）状態となっている。

このようにしてウエハ  $W_T$  に対する露光が終了すると、図5のステップ450に移行する。このステップ450では、不図示のウエハアンローダを介してウエハ  $W_T$  をウエハテーブル18上からアンロードするとともに不図示のウエハ搬送系を用いてウエハ  $W_T$  を露光装置100にインラインにて接続されている不図示のコータ・デベロッパに搬送する。

上記のコータ・デベロッパに対するウエハ  $W_T$  の搬送後に、ステップ452に進んでウエハ  $W_T$  の現像が終了するのを待つ。このステップ452における待ち時間の間に、コータ・デベロッパによってウエハ  $W_T$  の現像が行われる。この現像の終了により、ウエハ  $W_T$  上には、図8に示されるような矩形（長方形）の第1領域  $DC_n$  と、これを取り囲む矩形枠状の第2領域  $DD_n$  とから成る、評価点対応領域  $DB_n$  ( $n = 1 \sim 5$ ) のレジスト像が形成され、このレジスト像が形成されたウエハ  $W_T$  が投影光学系  $PL$  の光学特性を計測するための

試料となる。図9には、ウエハ $W_T$  上に形成された評価点対応領域 $DB_1$  のレジスト像の一例が示されている。

この図9では、評価点対応領域 $DB_1$  は、 $(N+2) \times (M+2) = 25 \times 15 = 375$  個の区画領域 $DA_{i,j}$  ( $i = 0 \sim M+1$ 、 $j = 0 \sim N+1$ ) によって構成され、隣接する区画領域相互間に仕切りの枠のレジスト像が存在するかのように図示されているが、これは個々の区画領域を分かり易くするためにこのようにしたるものである。しかし、実際には、隣接する区画領域相互間に仕切りの枠のレジスト像は存在しない。このように枠を無くすことにより、従来問題となっていた、FIA系のアライメントセンサなどによる画像取り込みに際して、枠による干渉に起因してパターン部のコントラスト低下が生じるのを防止するためである。このため、本実施形態では、前述のステップピッチ $SP$ を、各開口パターン $AP_n$  のウエハ $W_T$  上の投影像の寸法以下となるように設定したのである。

また、この場合、隣接する区画領域間のマルチバーパターンから成る計測用パターン $MP_n$  のレジスト像同士の距離を $L$ とすると、この距離 $L$ は、一方の計測用パターン $MP_n$  の像のコントラストに他方の計測用パターン $MP_n$  の像の存在が影響を与えない程度の距離とされている。この距離 $L$ は、区画領域を撮像する撮像装置（本実施形態の場合アライメント検出系 $AS$ のFIA系のアライメントセンサ）の解像度を $R_f$ 、計測用パターンの像のコントラストを $C_f$ 、レジストの反射率、屈折率などを含むプロセスによって定まるプロセスファクタを $P_f$ 、FIA系のアライメントセンサの検出波長を $\lambda_f$ とした場合に、一例として、 $L = f(C_f, R_f, P_f, \lambda_f)$  なる関数で表すことができる。

なお、プロセスファクタ $P_f$  は、像のコントラストに影響を与えるので、プロセスファクタを含まない関数 $L = f'(C_f, R_f, \lambda_f)$  なる関数によって距離 $L$ を規定しても良い。

また、図9からもわかるように、矩形（長方形）の第1領域 $DC_1$  を取り囲

む矩形枠状の第2領域  $D D_1$  には、パターン残存領域が見当たらない。これは、前述の如く、第2領域  $D D_1$  を構成する各区画領域の露光の際に過露光となる露光エネルギーを設定したためである。このようにしたのは、後述する外枠検出の際にその外枠部のコントラストを向上させ、検出信号の  $S/N$  比を高くするためである。

上記ステップ 452 の待ち状態で、不図示のコータ・デベロッパの制御系からの通知によりウエハ  $W_T$  の現像が終了したことを確認すると、ステップ 454 に移行し、不図示のウエハローダに指示を出して、前述のステップ 402 と同様にしてウエハ  $W_T$  をウエハテーブル 18 上に再度ロードした後、ステップ 456 の投影光学系の光学特性を算出するサブルーチン（以下、「光学特性計測ルーチン」とも呼ぶ）に移行する。

この光学特性計測ルーチンでは、まず、図 10 のステップ 502 において、カウンタ  $n$  を参照して、ウエハ  $W_T$  上の評価点対応領域  $D B_n$  のレジスト像がアライメント検出系 AS で検出可能となる位置にウエハ  $W_T$  を移動する。この移動、すなわち位置決めは、レーザ干渉計 26 の計測値をモニタしつつ、駆動系 22 を介して XYステージ 20 を制御することにより行う。ここで、カウンタ  $n$  は、 $n = 1$  に初期化されているものとする。従って、ここでは、図 9 に示されるウエハ  $W_T$  上の評価点対応領域  $D B_1$  のレジスト像がアライメント検出系 AS で検出可能となる位置にウエハ  $W_T$  が位置決めされる。なお、以下の光学特性計測ルーチンの説明では、評価点対応領域  $D B_n$  のレジスト像を、適宜「評価点対応領域  $D B_n$ 」と略述するものとする。

次のステップ 504 では、ウエハ  $W_T$  上の評価点対応領域  $D B_n$ （ここでは、 $D B_1$ ）のレジスト像をアライメント検出系 AS の FIA 系アライメントセンサ（以下、適宜「FIA センサ」と略述する）を用いて撮像し、その撮像データを取り込む。なお、FIA センサは、レジスト像を自身の有する撮像素子（CCD 等）のピクセル単位に分割し、ピクセル毎に対応するレジスト像の濃淡を

8ビットのデジタルデータ（ピクセルデータ）として主制御装置28に供給するようになっている。すなわち、前記撮像データは、複数のピクセルデータで構成されている。なお、ここでは、レジスト像の濃度が高くなる（黒に近くなる）につれてピクセルデータの値は大きくなるものとする。

次のステップ506では、FIAセンサからの評価点対応領域DB<sub>n</sub>（ここでは、DB<sub>1</sub>）に形成されたレジスト像の撮像データを整理し、撮像データファイルを作成する。

次のステップ（サブルーチン）508～ステップ516では、以下に説明するようにして、評価点対応領域DB<sub>n</sub>（ここでは、DB<sub>1</sub>）の外縁である長方形（矩形）の外枠を検出する。図14A～図14C及び図15A、図15Bには、外枠検出の様子が順番に示されている。これらの図において、符号DB<sub>n</sub>が付された矩形領域が、外枠検出の対象となる評価点対応領域DB<sub>n</sub>に相当する。

まず、サブルーチン508において、図14Aに示されるように、評価点対応領域DB<sub>n</sub>（ここでは、DB<sub>1</sub>）の画像中心近傍を通る縦方向ピクセル列情報を用いて境界検出を行い、評価点対応領域DB<sub>n</sub>の上辺及び下辺の大まかな位置を検出する。図12に、このサブルーチン508の処理が示されている。

このサブルーチン508では、まず、図12のサブルーチン702において、最適な閾値tを決定（自動設定）する。図13に、このサブルーチン702の処理が示されている。

サブルーチン702では、まず、図13のステップ802において、境界検出用の直線状のピクセル列、例えば図14Aに示される直線LVに沿う直線状のピクセル列のデータ（ピクセル列データ）を前述の撮像データファイルの中から抽出する。これにより、例えば図14A中の波形データPD1に対応するピクセル値を有するピクセル列データが得られたものとする。

次のステップ804では、そのピクセル列のピクセル値（ピクセルデータの値）の平均値と標準偏差（又は分散）を求める。

次のステップ806では、求めた平均値と標準偏差とに基づいて閾値（スレッショルドレベルライン）SLの振り幅を設定する。

次のステップ808では、図16に示されるように、上で設定した振り幅で閾値（スレッショルドレベルライン）SLを所定ピッチで変化させ、変化位置毎に波形データPD1と閾値（スレッショルドレベルライン）SLとの交点数を求め、その処理結果の情報(各閾値の値と交点数)を不図示の記憶装置に記憶する。

次のステップ810では、上記ステップ808で記憶した上記処理結果の情報に基づいて、求めた交点数が、対象パターン（この場合は、評価点対応領域DBn）によって定まる交点数に一致する閾値（仮閾値と呼ぶ）t0を求める。

次のステップ812では、上記仮閾値t0を含み、交点数が同じである閾値範囲を求める。

次のステップ814では、上記ステップ812で求めた閾値範囲の中心を最適な閾値tとして決定した後、図12のステップ704にリターンする。

なお、ここでは、高速化を目的としてピクセル列のピクセル値の平均値と標準偏差（又は分散）を基に、離散的に（所定ステップピッチで）閾値を変化させているが、閾値の変化方法は、これに限定されるものではなく、例えば連続的に変化させるなどしても良いことは勿論である。

図12のステップ704では、上で決定した閾値（スレッショルドレベルライン）tと、前述の波形データPD1との交点（すなわち、閾値tが波形データPD1を横切る点）を求める。なお、この交点の検出は、図16中に矢印A、A'で示されるように、実際にはピクセル列を外側から内側に走査することによって行われる。従って、交点は、少なくとも2点検出される。

図12に戻り、次のステップ706では、求めた各交点の位置からそれぞれ双方向にピクセル列を走査し、各交点の近傍のピクセル値の極大値及び極小値を、それぞれ求める。

次のステップ708では、求めた極大値及び極小値の平均値を算出し、これを新たな閾値  $t'$  とする。この場合、交点が少なくとも2点あるので、新たな閾値  $t'$  も交点毎に求められることになる。

次のステップ710では、上記ステップ708で求めた交点毎の、極大値と極小値との間で、閾値  $t'$  と波形データPD1との交点（すなわち、閾値  $t'$  が波形データPD1を横切る点）をそれぞれ求め、その求めた各点（ピクセル）の位置を境界位置とする。すなわち、このようにして境界位置（この場合、評価点対応領域DB<sub>n</sub>の上辺及び下辺の大まかな位置）を算出した後、図10のステップ510にリターンする。

図10のステップ510では、図14Bに示されるように、上記ステップ508で求めた上辺より少し下側の横方向（X軸方向にほぼ平行な方向）の直線LH1上のピクセル列、及び、求めた下辺より少し上側の横方向の直線LH2上のピクセル列を用いて、前述のステップ508と同様の手法で境界検出を行い、評価点対応領域DB<sub>n</sub>の左辺及び右辺上の点を各2点、合計4点求める。図14B中には、このステップ510における境界検出に用いられる、上記直線LH1上のピクセル列データのピクセル値に対応する波形データPD2、上記直線LH2上のピクセル列データのピクセル値に対応する波形データPD3がそれぞれ示されている。また、この図14B中には、ステップ510で求められた点Q<sub>1</sub>～Q<sub>4</sub>も併せて示されている。

図10に戻り、次のステップ512では、図14Cに示されるように、上記ステップ510で求めた左辺上の2点Q<sub>1</sub>、Q<sub>2</sub>より少し右側の縦方向の直線LV1上のピクセル列、及び、求めた右辺上の2点Q<sub>3</sub>、Q<sub>4</sub>より少し左側の縦方向の直線LV2上のピクセル列を用いて、前述のステップ508と同様の手法で境界検出を行い、評価点対応領域DB<sub>n</sub>の上辺及び下辺上の点を各2点、合計4点求める。図14C中には、このステップ512における境界検出に用いられる、上記直線LV1上のピクセル列データのピクセル値に対応する波形デ

ータ P D 4、上記直線 L V 2 上のピクセル列データのピクセル値に対応する波形データ P D 5 がそれぞれ示されている。また、この図 14 C 中には、ステップ 512 で求められた点 Q<sub>5</sub> ~ Q<sub>8</sub> も併せて示されている。

図 10 に戻り、次のステップ 514 では、図 15 A に示されるように、上記ステップ 510、512 においてそれぞれ求めた、評価点対応領域 D B<sub>n</sub> の左辺、右辺、上辺及び下辺上の各 2 点 (Q<sub>1</sub>, Q<sub>2</sub>)、(Q<sub>3</sub>, Q<sub>4</sub>)、(Q<sub>5</sub>, Q<sub>6</sub>)、(Q<sub>7</sub>, Q<sub>8</sub>) に基づいて、各辺上の 2 点で決まる直線同士の交点として、矩形領域（長方形領域）である評価点対応領域 D B<sub>n</sub> の外枠の 4 頂点 p<sub>0</sub>'、p<sub>1</sub>'、p<sub>2</sub>'、p<sub>3</sub>' を求める。ここで、この頂点の算出方法について、頂点 p<sub>0</sub>' を算出する場合を例にとって、図 17 に基づいて詳述する。

図 17 に示されるように、頂点 p<sub>0</sub>' が、境界位置 Q<sub>2</sub> から Q<sub>1</sub> へ向かうベクトル K<sub>1</sub> の  $\alpha$  倍 ( $\alpha > 0$ ) の位置にあり、同時に Q<sub>5</sub> から Q<sub>6</sub> へ向かうベクトル K<sub>2</sub> の  $\beta$  倍 ( $\beta < 0$ ) の位置にあるとするとき、次の連立方程式 (1) が成り立つ。（ここで、添え字 x, y は、それぞれ各点の x 座標、y 座標を表す。）

$$\left. \begin{array}{l} p_{0x}' = Q_{2x} + \alpha(Q_{1x} - Q_{2x}) = Q_{5x} + \beta(Q_{6x} - Q_{5x}) \\ p_{0y}' = Q_{2y} + \alpha(Q_{1y} - Q_{2y}) = Q_{5y} + \beta(Q_{6y} - Q_{5y}) \end{array} \right\} \dots (1)$$

上記の連立方程式 (1) を解けば、頂点 p<sub>0</sub>' の位置 (p<sub>0x</sub>', p<sub>0y</sub>') が求められる。

残りの頂点 p<sub>1</sub>'、p<sub>2</sub>'、p<sub>3</sub>' についても、同様の連立方程式を立て、それを解くことにより、それぞれの位置を求めることができる。

図 10 に戻り、次のステップ 516 では、図 15 B に示されるように、上で求めた 4 頂点 p<sub>0</sub>' ~ p<sub>3</sub>' の座標値に基づいて、最小二乗法による長方形近似を行い、回転を含めた評価点対応領域 D B<sub>n</sub> の外枠 D B F を算出する。

ここで、このステップ 516 における処理を、図 18 に基づいて詳述する。すなわち、このステップ 516 では、4 頂点 p<sub>0</sub> ~ p<sub>3</sub> の座標値を用いて、最小二乗法による長方形近似を行い、評価点対応領域 D B<sub>n</sub> の外枠 D B F の幅 w、

高さ  $h$ 、及び回転量  $\theta$  を求めている。なお、図 1.8において、 $y$  軸は紙面の下側が正となっている。

中心  $p_c$  の座標を  $(p_{cx}, p_{cy})$  とすると、長方形の 4 頂点  $(p_0, p_1, p_2, p_3)$  はそれぞれ次式 (2) ~ (5) のように表せる。

$$\begin{bmatrix} p_{0x} \\ p_{0y} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p_{cx} \\ p_{cy} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -w/2 \\ -h/2 \end{bmatrix} \dots (2)$$

$$\begin{bmatrix} p_{1x} \\ p_{1y} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p_{cx} \\ p_{cy} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w/2 \\ -h/2 \end{bmatrix} \dots (3)$$

$$\begin{bmatrix} p_{2x} \\ p_{2y} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p_{cx} \\ p_{cy} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w/2 \\ h/2 \end{bmatrix} \dots (4)$$

$$\begin{bmatrix} p_{3x} \\ p_{3y} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p_{cx} \\ p_{cy} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -w/2 \\ h/2 \end{bmatrix} \dots (5)$$

上記ステップ 5.1.4 で求めた 4 頂点  $p_0', p_1', p_2', p_3'$  の各点とそれぞれ対応する上式 (2) ~ (5) でそれぞれ表される頂点  $p_0, p_1, p_2, p_3$  との距離の総和を誤差  $E_p$  とする。誤差  $E_p$  は、次式 (6)、(7) で表せる。

$$E_{px} = (p_{0x} - p_{0x}')^2 + (p_{1x} - p_{1x}')^2 + (p_{2x} - p_{2x}')^2 + (p_{3x} - p_{3x}')^2 \dots (6)$$

$$E_{py} = (p_{0y} - p_{0y}')^2 + (p_{1y} - p_{1y}')^2 + (p_{2y} - p_{2y}')^2 + (p_{3y} - p_{3y}')^2 \dots (7)$$

上記式 (6)、(7) を、未知変数  $p_{cx}, p_{cy}, w, h, \theta$  でそれぞれ偏微分し、その結果が 0 になるように連立方程式を立て、その連立方程式を解くことによって長方形近似結果が得られる。

この結果、評価点対応領域  $DB_n$  の外枠  $DBF$  が求められた様子が、図 1.5 B に実線にて示されている。

図 1.0 に戻り、次のステップ 5.1.8 では、上で検出した評価点対応領域  $DB_n$  の外枠  $DBF$  を、既知の区画領域の縦方向の数 =  $(M+2) = 15$ 、区画領域の横方向の数 =  $(N+2) = 25$  を用いて、等分割し、各区画領域  $DA_{i,j}$

( $i = 0 \sim 14$ 、 $j = 0 \sim 24$ ) を求める。すなわち、外枠 DBF を基準として、各区画領域を求める。

図 15 C には、このようにして求められた、第 1 領域  $DC_n$  を構成する各区画領域  $DA_{i,j}$  ( $i = 1 \sim 13$ 、 $j = 1 \sim 23$ ) が示されている。

図 10 に戻り、次のステップ 520 では、各区画領域  $DA_{i,j}$  ( $i = 1 \sim M$ 、 $j = 1 \sim N$ ) について、ピクセルデータに関する代表値（以下、適宜「スコア」とも呼ぶ）を算出する。

以下、スコア  $E_{i,j}$  ( $i = 1 \sim M$ 、 $j = 1 \sim N$ ) の算出方法について詳述する。

通常、撮像された計測対象において、パターン部分と非パターン部分にはコントラスト差がある。パターンが消失した領域内には非パターン領域輝度をもつピクセルだけが存在し、一方、パターンが残存する領域内にはパターン領域輝度をもつピクセルと非パターン領域輝度を持つピクセルとが混在する。従って、パターン有無判別を行うための代表値（スコア）として、各区画領域内のピクセル値のばらつきを用いることができる。

本実施形態では、一例として、区画領域内の指定範囲のピクセル値の分散（又は標準偏差）を、スコア  $E$  として採用するものとする。

指定範囲内のピクセルの総数を  $S$ 、 $k$  番目のピクセルの輝度値を  $I_k$  とする  
と、スコア  $E$  は次式（8）で表せる。

$$E = \sum_{k=1}^S (SI_k - \sum I_k)^2 / S^3 \quad \dots (8)$$

本実施形態の場合、前述の如く、レチクル  $R_T$  上で、開口パターン  $AP_n$  ( $n = 1 \sim 5$ ) と中心を同じくする、該各開口パターンの約 60% の縮小領域部分に計測用パターン  $MP_n$  がそれぞれ配置されている。また、前述の露光の際のステップピッチ  $SP$  が、各開口パターン  $AP_n$  のウエハ  $W_T$  上への投影像の寸法とほぼ一致する約  $5 \mu m$  に設定されている。従って、パターン残存区画領域において、計測用パターン  $MP_n$  は、区画領域  $DA_{i,j}$  と中心を同じくし、該区画領域  $DA_{i,j}$  をほぼ 60% に縮小した範囲（領域）に存在することとなる。

かかる点を考慮すると、上記の指定範囲として、例えば区画領域  $D_{A_{i,j}}$  ( $i = 1 \sim M, j = 1 \sim N$ ) と中心を同じくし、その領域を縮小した範囲をスコア算出に用いることができる。但し、その縮小率  $A$  (%) は以下のように制限される。

まず、下限については、範囲が狭すぎるとスコア算出に用いる領域が、パターン部分のみになってしまい、そうするとパターン残存部でもばらつきが小さくなつてパターン有無判別には利用できなくなる。この場合には、上述のパターンの存在範囲から明らかに  $A > 60\%$  である必要がある。また、上限については、当然  $100\%$  以下だが、検出誤差などを考慮して  $100\%$  より小さい比率にすべきである。これより、縮小率  $A$  は、 $60\% < A < 100\%$  に定める必要がある。

本実施形態の場合、パターン部が区画領域の約  $60\%$  を占めているため、スコア算出に用いる領域（指定範囲）の区画領域に対する比を上げるほど  $S/N$  比が上がるものと予想される。

しかるに、スコア算出に用いる領域内でのパターン部と非パターン部の領域サイズが同じになれば、パターン有無判別の  $S/N$  比を最大にすることができる。従つて、幾つかの比率を実験的に確認して、最も安定した結果が得られる比率として、 $A = 90\%$  という比率を採用するものとした。勿論縮小率  $A$  は、 $90\%$  に限定されるものではなく、計測用パターン  $MP_n$  と開口パターン  $AP_n$  との関係、及びステップピッチ  $SP$  によって決定されるウエハ上の区画領域を考慮して、区画領域に対する計測用パターン  $MP_n$  の像が占める割合を考慮して定めれば良い。また、スコア算出に用いる指定範囲は、区画領域と中心を同じくする領域に限定されるものではなく、計測用パターン  $MP_n$  の像が区画領域内のどの位置に存在するかを考慮して定めれば良い。

従つて、ステップ 520 では、前記撮像データファイルから、各区画領域  $D_{A_{i,j}}$  の前記指定範囲内の撮像データを抽出し、上式 (8) を用いて、各区画領

域  $DA_{i,j}$  ( $i = 1 \sim M, j = 1 \sim N$ ) のスコア  $E_{i,j}$  ( $i = 1 \sim M, j = 1 \sim N$ ) を算出する。

上記の方法で求めたスコア  $E$  は、パターンの有無具合を数値として表しているので、所定の閾値で二値化することによってパターン有無の判別を自動的にかつ安定して行うことが可能である。

そこで、次のステップ 522 (図 1-1)において、区画領域  $DA_{i,j}$  每に上で求めたスコア  $E_{i,j}$  と所定の閾値  $SH$  とを比較して、各区画領域  $DA_{i,j}$  における計測用パターン  $MP$  の像の有無を検出し、検出結果としての判定値  $F_{i,j}$  ( $i = 1 \sim M, j = 1 \sim N$ ) を図示しない記憶装置に保存する。すなわち、このようにして、スコア  $E_{i,j}$  に基づいて、区画領域  $DA_{i,j}$  每に計測用パターン  $MP_n$  の像の形成状態を検出する。なお、像の形成状態としては、種々のものが考えられるが、本実施形態では、上述の如く、スコア  $E$  がパターンの有無具合を数値として表すものであるという点に基づいて、区画領域内にパターンの像が形成されているか否かに着目することとしたものである。

ここでは、スコア  $E_{i,j}$  が閾値  $SH$  以上の場合には、計測用パターン  $MP_n$  の像が形成されていると判断し、検出結果としての判定値  $F_{i,j}$  を「0」とする。一方、スコア  $E_{i,j}$  が閾値  $SH$  未満の場合には、計測用パターン  $MP_n$  の像が形成されていないと判断し、検出結果としての判定値  $F_{i,j}$  を「1」とする。図 1-9 には、この検出結果の一例がテーブルデータとして示されている。この図 1-9 は、前述の図 9 に対応するものである。

図 1-9において、例えば、 $F_{12,16}$  は、ウエハ  $WT$  の  $Z$  軸方向の位置が  $Z_{12}$  で、露光エネルギー量が  $P_{16}$  のときに転写された計測用パターン  $MP_n$  の像の形成状態の検出結果を意味し、一例として、図 1-9 の場合には、 $F_{12,16}$  は、「1」という値になっており、計測用パターン  $MP_n$  の像が形成されていないと判断されたことを示している。

なお、閾値  $SH$  は、予め設定されている値であり、オペレータが図示しない

入出力装置を用いて変更することも可能である。

次のステップ524では、上述の検出結果に基づいて、フォーカス位置毎にパターンの像が形成されている区画領域の数を求める。すなわち、フォーカス位置毎に判定値「0」の区画領域が何個あるかを計数し、その計数結果をパターン残存数  $T_i$  ( $i = 1 \sim M$ ) とする。この際に、周囲の領域と異なる値を持ついわゆる飛び領域は無視する。例えば、図19の場合には、ウエハ  $W_T$  のフォーカス位置が  $Z_1$  ではパターン残存数  $T_1 = 8$ 、 $Z_2$  では  $T_2 = 11$ 、 $Z_3$  では  $T_3 = 14$ 、 $Z_4$  では  $T_4 = 16$ 、 $Z_5$  では  $T_5 = 16$ 、 $Z_6$  では  $T_6 = 13$ 、 $Z_7$  では  $T_7 = 11$ 、 $Z_8$  では  $T_8 = 8$ 、 $Z_9$  では  $T_9 = 5$ 、 $Z_{10}$  では  $T_{10} = 3$ 、 $Z_{11}$  では  $T_{11} = 2$ 、 $Z_{12}$  では  $T_{12} = 2$ 、 $Z_{13}$  では  $T_{13} = 2$  である。このようにして、フォーカス位置とパターン残存数  $T_i$  との関係を求めることができる。

なお、上記の飛び領域が生ずる原因として、計測時の誤認識、レーザのミスファイヤ、ゴミ、ノイズ等が考えられるが、このようにして生じた飛び領域がパターン残存数  $T_i$  の検出結果に与える影響を軽減するために、フィルタ処理を行っても良い。このフィルタ処理としては、例えば評価する区画領域を中心とする  $3 \times 3$  の区画領域のデータ（判定値  $F_{i,j}$ ）の平均値（単純平均値又は重み付け平均値）を求めることが考えられる。なお、フィルタ処理は、形成状態の検出処理前のデータ（スコア  $E_{i,j}$ ）に対して行っても勿論良く、この場合には、より有効に飛び領域の影響を軽減できる。

次のステップ526では、パターン残存数からベストフォーカス位置を算出するための高次の近似曲線（例えば4～6次曲線）を求める。

具体的には、上記ステップ524で検出されたパターンの残存数を、横軸をフォーカス位置とし、縦軸をパターン残存数  $T_i$  とする座標系上にプロットする。この場合、図20に示されるようになる。ここで、本実施形態の場合、ウエハ  $W_T$  の露光にあっては、各区画領域  $D A_{i,j}$  を同一の大きさとし、かつ、行方向で隣接する区画領域間の露光エネルギー量の差を一定値（=  $\Delta P$ ）とし、列

方向で隣接する区画領域間のフォーカス位置の差を一定値 ( $= \Delta Z$ ) としたので、パターン残存数  $T_i$  が露光エネルギー量に比例するものとして扱うことができる。すなわち、図 20において、縦軸は露光エネルギー量  $P$  であると考えることもできる。

上記のプロット後、各プロット点をカーブフィットすることにより高次の近似曲線（最小二乗近似曲線）を求める。これにより、例えば図 20 に点線で示されるような曲線  $P = f(Z)$  が求められる。

図 11 に戻り、次のステップ 528 では、上記曲線  $P = f(Z)$  の極値（極大値又は極小値）の算出を試みるとともに、その結果に基づいて極値が存在するか否かを判断する。そして、極値が算出できた場合には、ステップ 530 に移行して極値におけるフォーカス位置を算出して、その算出結果を光学特性の一つである最良フォーカス位置とするとともに、該最良フォーカス位置を図示しない記憶装置に保存する。

一方、上記ステップ 528において、極値が算出されなかった場合には、ステップ 532 に移行して、ウエハ  $W_T$  の位置変化 ( $Z$  の変化) に対応する曲線  $P = f(Z)$  の変化量が最も小さいフォーカス位置の範囲を算出し、その範囲の中間の位置を最良フォーカス位置として算出し、その算出結果を最良フォーカス位置とするとともに、該最良フォーカス位置を図示しない記憶装置に保存する。すなわち、曲線  $P = f(Z)$  の最も平坦な部分に基づいてフォーカス位置を算出する。

ここで、このステップ 532 のようなベストフォーカス位置の算出ステップを設けたのは、計測用パターン  $MP$  の種類やレジストの種類その他の露光条件によっては、例外的に上述の曲線  $P = f(Z)$  が明確なピークを持たないような場合がある。このような場合にも、ベストフォーカス位置をある程度の精度で算出できるようにしたものである。

次のステップ 534 において、前述のカウンタ  $n$  を参照して、全ての評価点

対応領域  $DB_1 \sim DB_5$  について処理が終了したか否かを判断する。ここでは、評価点対応領域  $DB_1$  についての処理が終了しただけであるため、このステップ 534 における判断は否定され、ステップ 536 に進んでカウンタ  $n$  を 1 インクリメント ( $n \leftarrow n + 1$ ) した後、図 10 のステップ 502 に戻り、評価点対応領域  $DB_2$  がアライメント検出系 AS で検出可能となる位置に、ウエハ  $WT$  を位置決めする。

そして、上述したステップ 504 ～ 534 までの処理（判断を含む）を再度行い、上述した評価点対応領域  $DB_1$  の場合と同様にして、評価点対応領域  $DB_2$  について最良フォーカス位置を求める。

そして、評価点対応領域  $DB_2$  について最良フォーカス位置の算出が終了すると、ステップ 534 で全ての評価点対応領域  $DB_1 \sim DB_5$  について処理が終了したか否かを再度判断するが、ここでの判断は否定される。以後、ステップ 534 における判断が肯定されるまで、上記ステップ 502 ～ 536 の処理（判断を含む）が繰り返される。これにより、他の評価点対応領域  $DB_3 \sim DB_5$  について、前述した評価点対応領域  $DB_1$  の場合と同様にして、それぞれ最良フォーカス位置が求められることとなる。

このようにして、ウエハ  $WT$  上の全ての評価点対応領域  $DB_1 \sim DB_5$  について最良フォーカス位置の算出がなされると、ステップ 534 での判断が肯定され、ステップ 538 に移行して、上で求めた最良フォーカス位置データに基づいて他の光学特性を算出する。

例えば、このステップ 538 では、一例として、評価点対応領域  $DB_1 \sim DB_5$  における最良フォーカス位置のデータに基づいて、投影光学系  $PL$  の像面湾曲を算出する。

ここで、本実施形態では、説明の簡略化のため、投影光学系  $PL$  の視野内の各評価点に対応するレチクル  $RT$  上の領域に計測用パターンとして前述のパターン  $MP_n$  のみが形成されていることを前提として、説明を行った。しかし、

本発明がこれに限定されることは勿論である。例えば、レチクル  $R_T$  上に、例えば各評価点に対応するレチクル  $R_T$  上の領域の近傍に、前述したステップピッチ  $S_P$  の整数倍、例えば8倍、12倍などの間隔で複数の開口パターン  $A_{P_n}$  を配置し、各開口パターン  $A_{P_n}$  の内部に、周期方向が異なる  $L/S$  パターンや、ピッチが異なる  $L/S$  パターンなど複数種類の計測用パターンをそれぞれ配置しても良い。このようにすると、複数種類の計測用パターンにおける最良フォーカス位置(平均値など)を求めるだけでなく、例えば、各評価点に対応する位置に近接して配置された周期方向が直交する1組の  $L/S$  パターンを計測用パターンとして得られた最良フォーカス位置から各評価点における非点収差を求めることができる。さらに、投影光学系  $P_L$  の視野内の各評価点について、上述のようにして算出された非点収差に基づいて最小二乗法による近似処理を行うことにより非点収差面内均一性を求めるとともに、非点収差面内均一性と像面湾曲とから総合焦点差を求めることが可能となる。

そして、上述のようにして求められた投影光学系  $P_L$  の光学特性データは、図示しない記憶装置に保存されるとともに、不図示の表示装置の画面上に表示される。これにより、図11のステップ538の処理、すなわち図5のステップ456の処理を終了し、一連の光学特性の計測処理を終了する。

次に、デバイス製造の場合における、本実施形態の露光装置100による露光動作を説明する。

前提として、上述のようにして決定された最良フォーカス位置の情報、あるいはこれに加えて像面湾曲の情報が、不図示の入出力装置を介して主制御装置28に入力されているものとする。

例えば、像面湾曲の情報が入力されている場合には、主制御装置28は、露光に先立って、この光学特性データに基づいて、図示しない結像特性補正コントローラに指示し、例えば投影光学系  $P_L$  の少なくとも1つの光学素子(本実施形態では、レンズエレメント)の位置(他の光学素子との間隔を含む)ある

いは傾斜などを変更することにより、その像面湾曲が補正されるように投影光学系PLの結像特性を可能な範囲で補正する。なお、投影光学系PLの結像特性の調整に用いる光学素子は、レンズエレメントなどの屈折光学素子だけではなく、例えば凹面鏡などの反射光学素子、あるいは投影光学系PLの収差（ディストーション、球面収差など）、特にその非回転対称成分を補正する収差補正板などでも良い。さらに、投影光学系PLの結像特性の補正方法は光学素子の移動に限られるものではなく、例えば露光光源を制御してパルス照明光ILの中心波長を僅かにシフトさせる方法、又は投影光学系PLの一部で屈折率を変化させる方法などを単独、あるいは光学素子の移動との組み合わせで採用しても良い。

そして、主制御装置28からの指示に応じて、不図示のレチクルローダにより転写対象となる所定の回路パターン（デバイスパターン）が形成されたレチクルRがレチクルステージRST上にロードされる。同様に、不図示のウエハローダにより、ウエハWがウエハテーブル18上にロードされる。

次に、主制御装置28により、不図示のレチクルアライメント顕微鏡、ウエハテーブル18上の基準マーク板FP、アラインメント検出系AS等を用いて、レチクルアライメント、ベースライン計測などの準備作業が所定の手順で行われ、これに続いてEGA（エンハンスト・グローバル・アラインメント）方式などのウエハアライメントが行われる。なお、上記のレチクルアライメント、ベースライン計測等の準備作業については、例えば特開平4-324923号公報及びこれに対応する米国特許第5,243,195号等に詳細に開示され、また、これに続くEGAについては、特開昭61-44429号公報及びこれに対応する米国特許第4,780,617号等に詳細に開示されている。本国際出願で指定した指定国又は選択した選択国の国内法令が許す限りにおいて、上記各公報並びにこれらに対応する上記米国特許における開示を援用して本明細書の記載の一部とする。

上記のウエハアライメントが終了すると、以下のようにしてステップ・アンド・リピート方式の露光動作が行われる。

この露光動作にあたって、まず、ウエハW上の最初のショット領域（ファースト・ショット領域）が露光位置（投影光学系PLの直下）に一致するようにウエハテーブル18が位置決めされる。この位置決めは、主制御装置28により、レーザ干渉計26によって計測されたウエハWのXY位置情報（又は速度情報）に基づき、駆動系22等を介してXYステージ20を移動することによって行われる。

このようにして、ウエハWが所定の露光位置に移動すると、主制御装置28は、フォーカスセンサAFSによって検出されたウエハWのZ軸方向の位置情報に基づき、前述した光学特性補正後の投影光学系PLの像面の焦点深度の範囲内にウエハW表面の露光対象のショット領域が収まるように、駆動系22を介してウエハテーブル18をZ軸方向及び傾斜方向に駆動して面位置の調整を行う。そして、主制御装置28は、前述した露光を行う。なお、本実施形態では、ウエハWの露光動作に先立って、前述した各評価点における最良フォーカス位置に基づいて投影光学系PLの像面を算出し、この像面がフォーカスセンサAFSの検出基準となるようにフォーカスセンサAFSの光学的なキャリブレーション（例えば、受光系50b内に配置される平行平面板の傾斜角度の調整など）が行われている。勿論、光学的なキャリブレーションを必ずしも行う必要はなく、例えば先に算出した像面とフォーカスセンサAFSの検出基準との偏差に応じたオフセットを考慮して、フォーカスセンサAFSの出力に基づいてウエハW表面を像面に一致させるフォーカス動作（及びレベリング動作）を行うようにしても良い。

このようにしてファースト・ショット領域に対する露光、すなわちレチクルパターンの転写が終了すると、ウエハテーブル18が1ショット領域分だけステッピングされて、前ショット領域と同様に露光が行われる。

以後、このようにして、ステッピングと露光とが順次繰り返され、ウエハW上に必要なショット数のパターンが転写される。

以上詳細に説明したように、本実施形態に係る露光装置における、投影光学系PLの光学特性計測方法によると、矩形枠状の開口パターンAP<sub>n</sub>と該開口パターンAP<sub>n</sub>の内部に位置する計測用パターンMP<sub>n</sub>とが形成されたレチクルRTを、投影光学系の物体面側に配置されたレチクルステージRST上に搭載し、投影光学系PLの像面側に配置されたウエハWTの投影光学系PLの光軸方向に関する位置(Z)とウエハWT上に照射されるパルス照明光ILのエネルギー量Pをそれぞれ変更しながら、ウエハWTを開口パターンAP<sub>n</sub>のサイズに対応する距離、すなわち開口パターンAP<sub>n</sub>のウエハWT上への投影像のサイズ以下のステップピッチで順次XY面内で移動して計測用パターンMP<sub>n</sub>をウエハWT上に順次転写する。これにより、ウエハWT上には、マトリックス状に配置された複数の区画領域DA<sub>i,j</sub>(i=0~M+1, j=0~N+1)から成る全体として矩形の評価点対応領域DB<sub>n</sub>が形成される。この場合、前述した理由により、ウエハWT上には、区画領域相互間の境界に従来のような枠線が存在しない複数のマトリックス状配置の複数の区画領域(計測用パターンの像が投影された領域)が形成される。

そして、ウエハWTの現像後に、該ウエハWT上に形成された評価点対応領域DB<sub>n</sub>を構成する複数の区画領域のうち、第2領域DD<sub>n</sub>を除く第1領域DC<sub>n</sub>を構成するM×N個の領域における像の形成状態を画像処理の手法、具体的には、主制御装置28が、アライメント検出系ASのFIAセンサを用いてウエハWT上の評価点対応領域DB<sub>n</sub>を撮像し、取り込んだレジスト像の撮像データを用いて前述の各区画領域DA<sub>i,j</sub>のスコアE<sub>i,j</sub>と閾値SHとを比較した二値化の手法により検出する。

本実施形態の場合、隣接する区画領域間に枠線が存在しないので、像形成状態の検出対象である複数の区画領域(主として計測用パターンの像の残存する

区画領域)において、計測用パターンの像のコントラストが枠線の干渉に起因して低下することがない。このため、それらの複数の区画領域の撮像データとしてパターン部と非パターン部のS/N比の良好なデータを得ることができる。従って、区画領域毎の計測用パターンMPの形成状態を精度、再現性良く検出することが可能となる。しかも、像の形成状態を客観的、定量的なスコア  $E_{i,j}$  を閾値  $S_H$  と比較してパターンの有無情報(二値化情報)に変換して検出するので、区画領域毎の計測用パターンMPの形成状態を、再現性良く検出することができる。

また、本実施形態では、パターンの有無具合を数値として表したスコア  $E_{i,j}$  を用いて像の形成状態をパターン有無情報(二値化情報)に変換して検出するので、パターン有無の判別を自動的にかつ安定して行うことができる。従って、本実施形態では、二値化に際して、閾値は一つだけで足り、複数の閾値を設定しておいて閾値毎にパターンの有無具合を判別するような場合に比べて、像の形成状態の検出に要する時間を短縮することができるとともに、その検出アルゴリズムも簡略化することができる。

また、主制御装置28は、上述した区画領域毎の像の形成状態の検出結果、すなわち客観的かつ定量的な上記のスコア  $E_{i,j}$  (画像のコントラストの指標値)を用いた検出結果に基づいて最良フォーカス位置などの投影光学系PLの光学特性、を求めている。このため、短時間で精度良く最良フォーカス位置などを求めることができるとなる。従って、この最良フォーカス位置に基づいて決定される光学特性の測定精度及び測定結果の再現性を向上させることができるとともに、結果的に光学特性計測のスループットを向上させることができるとなる。

また、本実施形態では、上述の如く、像の形成状態をパターンの有無情報(二値化情報)に変換して検出するので、レチクルRTのパターン領域PA内に計測用パターンMP以外のパターン(例えば、比較用の基準パターンや、位置決

め用マークパターン等) を配置する必要がない。また、従来の寸法を計測する方法 (CD/フォーカス法、SMPフォーカス計測法など) に比べて、計測用パターンを小さくすることができる。このため、評価点の数を増加させることができるとともに、評価点間の間隔を狭くすることが可能となる。結果的に、光学特性の測定精度及び測定結果の再現性を向上させることができる。

また、本実施形態では、ウエハ $W_T$  上に形成される隣接する区画領域間に枠線が存在しないことに鑑み、各評価点対応領域 $D B_n$  の外周縁である外枠 $D B_F$ を基準として各区画領域 $D A_{i,j}$  の位置を算出する手法を採用している。そして、各評価点対応領域 $D B_n$  内の最外周部に位置する複数の区画領域から成る第2領域 $D D_n$  を構成する各区画領域が過露光の領域となるように露光条件の一部としてウエハ $W_T$  上に照射されるパルス照明光 $I_L$ のエネルギー量を変更している。これにより、前述の外枠 $D B_F$ の検出に際してのS/N比が向上し、外枠 $D B_F$ の検出を高精度に行うことができ、この結果、これを基準として各第1領域 $D C_n$  を構成する各区画領域 $D A_{i,j}$  ( $i = 1 \sim M$ ,  $j = 1 \sim N$ ) の位置を精度良く検出することができる。

また、本実施形態に係る光学特性計測方法によると、統計処理による近似曲線の算出という客観的、かつ確実な方法を基礎として最良フォーカス位置を算出しているので、安定して高精度かつ確実に光学特性を計測することができる。なお、近似曲線の次数によっては、その変曲点、あるいはその近似曲線と所定のスライスレベルとの複数の交点等に基づいて最良フォーカス位置を算出することは可能である。

また、本実施形態の露光装置によると、本実施形態に係る光学特性計測方法により精度良く計測された投影光学系 $P_L$  の光学特性を考慮して最適な転写が行えるように投影光学系 $P_L$  が露光に先立って調整され、その調整された投影光学系 $P_L$  を介してレチクル $R$  に形成されたパターンがウエハ $W$  上に転写される。更に、上述のようにして決定された最良フォーカス位置を考慮して露光の

際のフォーカス制御目標値の設定が行われるので、デフォーカスによる色むらの発生を効果的に抑制することができる。従って、本実施形態に係る露光方法によると、微細パターンをウエハ上に高精度に転写することが可能となる。

なお、上記実施形態では、計測用パターン $MP_n$  の像の形成状態を、スコア $E_{i,j}$  を閾値 $SH$  と比較してパターンの有無情報（二値化情報）に変換して検出する場合について説明したが、本発明がこれに限定されるものではない。上記実施形態では、評価点対応領域 $DB_n$  の外枠 $DBF$  を精度良く検出し、この外枠を基準として各区画領域 $DA_{i,j}$  を演算により算出するので、各区画領域の位置を正確に求めることができる。従って、この正確に求められた各区画領域に対してテンプレートマッチングを行うこととしても良い。このようにすれば、短時間にテンプレートマッチングを行うことができる。この場合、テンプレートパターンとして、例えば像が形成された区画領域あるいは像が形成されなかった区画領域の撮像データを用いることができる。このようにしても、客観的、定量的な相関値の情報が区画領域毎に得られるので、得られた情報を、所定の閾値と比較することにより、計測用パターン $MP$  の形成状態を二値化情報（像の有無情報）に変換することにより、上記実施形態と同様に像の形成状態を精度、再現性良く検出することができる。

また、上記実施形態では、評価点対応領域 $DB_n$  を構成する第2領域が正確な矩形枠状である場合について説明したが、本発明がこれに限定されるものではない。すなわち、第2領域は、その外縁が少なくとも第1領域を構成する各区画領域の位置算出の基準にできれば良いので、全体として矩形の第1領域の外周全域に渡って形成される必要はなく、矩形枠状の区画領域の一部、例えばコ字状（U字状）部分であっても良い。

また、第2領域、すなわち矩形枠状の領域、あるいはその一部の領域を形成する方法も、上記実施形態で説明した計測用パターンを過露光の状態でウエハ上に転写する、ステップ・アンド・リピート方式の露光方法以外の方法を採用

しても良い。例えば、露光装置 100 のレチクルステージ RST 上に例えば矩形枠状の開口パターン、あるいはその一部のパターンなどが形成されたレチクルを搭載し、そのレチクルのパターンを 1 回の露光で、投影光学系 PL の像面側に配置されたウエハ上に転写して、過露光の第 2 領域をウエハ上に形成することとしても良い。この他、前述した開口パターン  $AP_n$  と同様の開口パターンが形成されたレチクルをレチクルステージ RST 上に搭載して、ステップ・アンド・リピート方式で、その開口パターンを過露光の露光エネルギー量でウエハ上に転写することにより、過露光の第 2 領域をウエハ上に形成することとしても良い。また、例えば上記の開口パターンを用いてステップ・アンド・ステイッチ方式で露光を行い、ウエハ上に開口パターンの複数の像を隣接あるいは繋ぎ合わせて形成することによって、過露光の第 2 領域をウエハ上に形成しても良い。この他、レチクルステージ RST を静止させた状態でそのレチクルステージ RST 上に搭載されたレチクルに形成された開口パターンを照明光で照明しながらウエハ W (ウエハテーブル 18) を所定方向に移動して過露光の第 2 領域を形成しても良い。いずれにしても、上記実施形態と同様に、過露光の第 2 領域の存在により、その第 2 領域の外縁を S/N 比の良好な検出信号に基づいて精度良く検出することが可能となる。

これらの場合において、マトリックス状に配置された複数の区画領域  $DA_{i,j}$  から成る全体として矩形の第 1 領域  $DC_n$  をウエハ  $W_T$  上に形成する工程と、第 1 領域の周囲の少なくとも一部のウエハ上に領域に過露光の第 2 領域(例えば  $DD_n$  など)を形成する工程とは、上記実施形態の場合と反対であっても良い。特に、像形成状態の検出の対象となる第 1 領域の形成のための露光を、後で行うようにした場合には、例えば感光剤として、化学增幅型レジストなどの高感度レジストを用いる場合に、計測用パターンの像の形成(転写)から現像までの時間を短くできるので、特に好適である。

また、過露光の第 2 領域は、上記実施形態のような矩形枠状あるいはその一

部のような形状に限定されるものではない。例えば、第2領域の形状は、第1領域との境界線（内縁）のみが矩形枠状の形状を有し、外縁は任意形状であっても良い。かかる場合であっても、第1領域の外側に過露光の第2領域（パターン像が形成されない領域）が存在するので、第1領域内の最外周部に位置する区画領域（以下、「外縁部区画領域」と呼ぶ）の検出の際に、隣接する外側の領域のパターン像の存在によりその外縁部区画領域の像のコントラストが低下するのが防止される。従って、前記外縁部区画領域と第2領域の境界線をS/N比良く検出することが可能となり、その境界線を基準として設計値に基づき他の区画領域（第1領域を構成する各区画領域）の位置を算出することができ、他の区画領域のほぼ正確な位置を求めることが可能である。これにより、第1領域内の複数の区画領域それぞれの位置をほぼ正確に知ることができるので、例えばそれぞれの区画領域に対して、上記実施形態と同様のスコア（像のコントラストの指標値）を用いた方法、あるいはテンプレートマッチング法を適用して像の形成状態を検出することにより、上記実施形態と同様に、パターン像の形成状態を短時間で検出することが可能になる。

そして、その検出結果に基づいて投影光学系の光学特性を求ることにより、客観的かつ定量的な像のコントラスト、あるいは相関値を用いた検出結果に基づいて光学特性を求めることができる。従って、上記実施形態と同等の効果を得ることができる。

また、全体として矩形の第1領域を構成するN×M個の区画領域を全て露光するものとしたが、N×M個の区画領域の少なくとも1個、すなわち曲線P=f(z)の決定に明らかに寄与しない露光条件が設定される区画領域（例えば、図9で右上隅及び右下隅に位置する区画領域など）については必ずしもその露光を行わなくても良い。この場合、第1領域の外側に形成される第2領域はその形状が矩形でなくその一部に凹凸を持つ形状となるように形成しても良い。換言すればN×M個の区画領域のうち露光された区画領域のみを囲むように第

2領域を形成しても良い。

また、前記外縁部区画領域と第2領域の境界線を検出する場合には、アライメント検出系のFIA系センサ以外のアライメントセンサ、例えばLSA系などの散乱光あるいは回折光の光量などを検出するアライメントセンサを用いても良い。

かかる場合であっても、第2領域の内縁部を基準として、第1領域内の各区画領域の位置を精度良く求めることが可能である。

また、上記実施形態と同様に、各評価点対応領域を第1領域とその周囲の第2領域とで形成する場合には、前述のステップピッチSPを、前述した開口パターンAPの投影領域サイズ以下に必ずしも設定しなくても良い。その理由は、これまでに説明した方法で、第2領域の一部を基準として、第1領域を構成する各区画領域の位置がほぼ正確に求まるので、その位置の情報を用いることにより、例えばテンプレートマッチングや、上記実施形態の場合を含むコントラスト検出をある程度の精度でかつ短時間で行うことができるからである。

一方、前述のステップピッチSPを、前述した開口パターンAPの投影領域サイズ以下に設定する場合において、第1領域の外側に前述の第2領域を必ずしも形成しなくても良い。かかる場合であっても、上記実施形態と同様にして第1領域の外枠を検出することが可能であり、この検出した外枠を基準として第1領域内の各区画領域の位置を正確に求めることが可能だからである。そして、このようにして求められた各区画領域の位置の情報を用いて、例えばテンプレートマッチングや、上記実施形態のようなスコアを用いた検出（コントラスト検出）により像形成状態を検出する場合に、枠の干渉に起因するパターン部と非パターン部のコントラスト低下のないS/N比の良好な画像データを用いて像形成状態を精度良く検出することが可能となる。

但し、この場合には、第1領域内の最外周の区画領域でパターンが残っている区画領域が並ぶ辺上では境界の誤検出を起こし易くなる。このため、誤検出

を起こし難い境界の検出情報を用いて、誤検出を起こし易い境界の検出範囲を限定することによって対処することが望ましい。上記実施形態に則して説明すれば、誤検出を起こし難い区画領域が並ぶ右辺で検出した境界の情報を基に、誤検出を起こし易い区画領域が並ぶ左辺上の境界位置の検出範囲を限定する。また、第1領域の上下辺上の境界検出では、誤検出を起こし難い右側の検出情報を用いて左側の境界位置の検出範囲を限定することとすれば良い(図9参照)。

なお、上記実施形態では、ウエハ $W_T$  のステップピッチSPを、通常より狭く設定することにより、ウエハ $W_T$  上に形成された評価点対応領域を構成する区画領域間に枠が残存しないようにして、枠の干渉によるパターン部のコントラスト低下を防止する場合について説明した。しかし、枠の存在によるパターン部のコントラスト低下は、以下のようにしても防止することができる。

すなわち、前述の計測用パターンMPと同様にマルチバーパターンを含む計測用パターンが形成されたレチクルを用意し、該レチクルをレチクルステージRST上に搭載し、ステップ・アンド・リピート方式などで前記計測用パターンをウエハ上に転写し、これにより、隣接する複数の区画領域から成り、各区画領域に転写されたマルチバーパターンとこれに隣接するパターンとが、マルチバーパターンの像のコントラストが前記隣接するパターンによる影響を受けない距離 $L$ 以上離れている所定の領域をウエハ上に形成することとしても良い。

この場合、各区画領域に転写されたマルチバーパターンとこれに隣接するパターンとが、マルチバーパターンの像のコントラストが隣接するパターンによる影響を受けない距離 $L$ 以上離れているので、前記所定の領域を構成する複数の区画領域の少なくとも一部の複数の区画領域における像の形成状態を、画像処理の手法、テンプレートマッチング、あるいはスコア検出を含むコントラスト検出などの画像処理手法により検出する際に、それぞれの区画領域に転写されたマルチバーパターンの像のS/N比が良好な撮像信号を得ることができる。従って、この撮像信号に基づいて、テンプレートマッチング、あるいはスコア

検出を含むコントラスト検出などの画像処理手法により各区画領域に形成されたマルチバーパターンの像の形成状態を精度良く検出することができる。

例えば、テンプレートマッチングによる場合には、客観的、定量的な相関値の情報が区画領域毎に得られ、コントラスト検出の場合には、客観的、定量的なコントラスト値の情報が区画領域毎に得られるので、いずれにしても、得られた情報を、それぞれの閾値と比較することにより、マルチバーパターンの像の形成状態を二値化情報（像の有無情報）に変換することにより、各区画領域毎のマルチバーパターンの形成状態を精度、再現性良く検出することが可能となる。

従って、かかる場合にも上記実施形態と同様に、上記の検出結果に基づいて投影光学系の光学特性を求ることにより、客観的かつ定量的な相関値、コントラストなどを用いた検出結果に基づいて光学特性が求められる。従って、従来の方法と比較して光学特性を精度及び再現性良く計測することができる。また、評価点の数を増加させることができるとともに、各評価点間の間隔を狭くすることができ、結果的に光学特性計測の測定精度を向上させることができるとなる。

なお、上記実施形態では、前述の外枠DBFの検出の際の境界の検出で、ピクセル列データ（生データ）を用い、そのピクセル値の大小（明暗差）により境界位置を検出する場合について説明したが、これに限らず、ピクセル列データ（グレーレベルの生データ）の微分波形を用いても良い。

図21Aは、境界検出に際して得られたグレーレベルの生データを示し、図21Bは、図21Aの生データをそのまま微分した微分データを示す。この微分データが、ノイズや残存パターンによって外枠部分の信号出力が目立ちにくい場合には、図21Cのようにスムージングフィルタを施してから微分しても良い。このようにしても、外枠の検出が可能である。

なお、上記実施形態では、レチクルRT上の計測用パターンMPnとして開

ロパターンAP内の中央部に配置された1種類のL/Sパターン（マルチバーパターン）を用いる場合について説明したが、本発明がこれに限定されないことは言うまでもない。計測用パターンとしては、密集パターンと孤立パターンのいずれを用いても良いし、その両方のパターンを併用したり、周期方向が異なる少なくとも2種類のL/Sパターンや、孤立線やコンタクトホールなどを用いたりしても良い。計測用パターンMP<sub>n</sub>としてL/Sパターンを用いる場合には、デューティ比及び周期方向は、任意で良い。また、計測用パターンMP<sub>n</sub>として周期パターンを用いる場合、その周期パターンは、L/Sパターンだけではなく、例えばドットマークを周期的に配列したパターンでも良い。これは、像の線幅等を計測する従来の方法とは異なり、像の形成状態をスコア（コントラスト）で検出しているからである。

また、上記実施形態では、1種類のスコアに基づいて最良フォーカス位置を求めており、これに限らず、複数種類のスコアを設定しこれらに基づいて、それぞれ最良フォーカス位置を求めて良く、あるいはこれらの平均値（あるいは重み付け平均値）に基づいて最良フォーカス位置を求めて良い。

また、上記実施形態では、ピクセルデータを抽出するエリアを矩形としているが、これに限定されるものではなく、例えば、円形や橢円形、あるいは三角形などであっても良い。また、その大きさも任意に設定することができる。すなわち、計測用パターンMP<sub>n</sub>の形状に合わせて抽出エリアを設定することによりノイズを減少させ、S/N比を高くすることが可能である。

また、上記実施形態では、像の形成状態の検出に1種類の閾値を用いているが、これに限らず、複数の閾値を用いても良い。複数の閾値を用いる場合、それぞれの閾値を、スコアと比較することで、区画領域の像の形成状態を検出することとしても良い。この場合、例えば第1の閾値での検出結果から最良フォーカス位置が算出困難な場合に、第2の閾値での形成状態の検出を行い、その検出結果から最良フォーカス位置を求めることが可能となる。

また、予め複数の閾値を設定しておき、閾値毎に最良フォーカス位置を求め、それらの平均値（単純平均値あるいは重み付け平均値）を最良フォーカス位置としても良い。例えば、各閾値に応じて、露光エネルギー量  $P$  が極値を示すときのフォーカス位置を順次算出する。そして、各フォーカス位置の平均値を最良フォーカス位置とする。なお、露光エネルギー量  $P$  とフォーカス位置  $Z$  との関係を示す近似曲線と適当なスライスレベル（露光エネルギー量）との2つの交点（フォーカス位置）を求め、両交点の平均値を、各閾値毎に算出し、それらの平均値（単純平均値あるいは重み付け平均値）を最良フォーカス位置としても良い。

あるいは、各閾値毎に最良フォーカス位置を算出し、閾値と最良フォーカス位置との関係において、閾値の変動に対して、最良フォーカス位置の変化が最も小さい区間における最良フォーカス位置の平均値（単純平均値あるいは重み付け平均値）を最良フォーカス位置としても良い。

また、上記実施形態では、予め設定されている値を閾値として用いているが、これに限定されるものではない。例えば、ウエハ  $W_T$  上の計測用パターン  $MP_n$  が転写されていない領域を撮像し、得られたスコアを閾値としても良い。

なお、前述の外枠検出を行わない場合には、評価点対応領域  $DB_n$  に形成されたレジスト像を必ずしも1度に撮像する必要はない。例えば、撮像データの分解能を向上させる必要がある場合には、アライメント検出系  $AS$  の  $FIA$  センサの倍率を上げ、ウエハテーブル18を  $X Y$  2次元方向に所定距離ステッピングさせる動作と、 $FIA$  センサによるレジスト像の撮像とを交互に順次繰り返すことによって、区画領域毎に撮像データの取り込みを行うこととしても良い。さらに、例えば前述の第1領域と第2領域とで、 $FIA$  センサによる画像の取り込み回数を異ならせても良く、このようにすることにより計測時間の短縮などを図ることができる。

なお、上記実施形態の露光装置100では、主制御装置28は、図示しない記憶装置に格納されている処理プログラムに従って、前述した投影光学系の光

光学特性の計測を行うことにより、計測処理の自動化を実現することができる。勿論、この処理プログラムは、他の情報記録媒体（CD-ROM、MO等）に保存されていても良い。さらに、計測を行う時に、図示しないサーバから処理プログラムをダウンロードしても良い。また、計測結果を、図示しないサーバに送付したり、インターネットやイントラネットを介して電子メール及びファイル転送により、外部に通知することも可能である。

また、撮像装置として露光装置外に設けられた専用の撮像装置（例えば光学顕微鏡など）を用いても良い。また、画像処理以外の方法で外枠検出を行う場合などに、LSA系のアライメントセンサなどを用いることも可能である。さらに、オペレータなどが介在することなく、前述の計測結果（最良フォーカス位置など）に基づいて投影光学系PLの光学特性を調整することができる。すなわち、露光装置に自動調整機能を持たせることが可能となる。

また、外枠基準による各区画領域の位置算出を行わないのであれば、ウエハ上の評価点対応領域を、上記実施形態の如く、マトリックス状に配置された複数の区画領域によって構成する必要はない。すなわち、ウエハ上のいずれの位置にパターンの転写像が転写されていても、その撮像データを用いてスコアを求めるることは十分に可能だからである。すなわち、撮像データファイルが作成できれば良いからである。

また、上記実施形態では、一例として、区画領域内の指定範囲のピクセル値の分散（又は標準偏差）を、スコアEとして採用するものとしたが、本発明がこれに限定されるものではなく、区画領域内又はその一部（例えば、前述の指定範囲）のピクセル値の加算値、微分総和値をスコアEとしても良い。また、上記実施形態中で説明した外枠検出のアルゴリズムは一例であって、これに限らず、例えば前述した境界検出と同様の手法により、評価点対応領域DB<sub>n</sub>の4辺（上辺、下辺、左辺及び右辺）でそれぞれ少なくとも2点を検出することとしても良い。このようにしても、検出された少なくとも8点に基づいて例え

ば前述と同様の頂点検出、長方形近似などが可能である。また、上記実施形態では、図3に示されるように、開口パターンの内部に遮光部によって計測用パターン $MP_n$ が形成された場合について説明したが、これに限らず、図3の場合と反対に、遮光部内に光透過性のパターンから成る計測用パターンを形成しても良い。

### 《第2の実施形態》

次に、本発明の第2の実施形態を図22～図30に基づいて説明する。本第2の実施形態においては、前述した第1の実施形態に係る露光装置100と同様の構成の露光装置を用いて、投影光学系のPLの光学特性の計測及び露光が行われる。この露光装置は、前述した露光装置100と比べて、主制御装置内部のCPUの処理アルゴリズムが異なるのみで、その他の部分の構成などは前述の露光装置100と同一である。従って、以下においては、重複説明を避ける観点から、同一部分には同一の符号を用いるとともに、その説明を省略するものとする。

本第2の実施形態では、光学特性の計測に際し、計測用パターンとして図22に示されるような計測用パターン200が形成された計測用レチクル( $R_T'$ とする)が用いられる。この計測用レチクル $R_T'$ は、前述の計測用レチクル $R_T$ と同様に、ほぼ正方形のガラス基板の中央に、クロム等の遮光部材から成るパターン領域PAが形成され、このパターン領域PAの中心(すなわちレチクル $R_T'$ の中心(レチクルセンタ)に一致)及び4隅の部分の合計5箇所にそれぞれ設けられる光透過部内に、計測用パターン200が形成されている。また、レチクルアライメントマークも同様に形成されている。

ここで、計測用レチクル $R_T'$ のパターン領域PAに形成された計測用パターン200について、図22を用いて説明する。

計測用パターン200は、本第2の実施形態では、一例として図22に示されるように、複数本のバーパターン(遮光部)から成る4種類のパターン、す

なわち、第1パターンCA1、第2パターンCA2、第3パターンCA3、及び第4パターンCA4から構成されている。ここで、第1パターンCA1は、所定の線幅を有するラインアンドスペース（以下、「L/S」と略述する）パターンであり、周期方向は紙面左右方向（X軸方向：第1の周期方向）である。第2パターンCA2は、前記第1パターンCA1を紙面内で反時計回りに90度回転させた形状であり、第2の周期方向（Y軸方向）を有している。第3パターンCA3は、前記第1パターンCA1を紙面内で反時計回りに45度回転させた形状であり、第3の周期方向を有している。第4パターンCA4は、前記第1パターンCA1を紙面内で時計回りに45度回転させた形状であり、第4の周期方向を有している。すなわち、各パターンCA1～CA4は、周期方向が異なる以外は同一形成条件（周期、デューティ比など）で形成されたL/Sパターンである。

また、前記第2パターンCA2は、前記第1パターンCA1の紙面下側（+Y側）に配置され、前記第3パターンCA3は、前記第1パターンCA1の紙面右側（+X側）に配置され、前記第4パターンCA4は、前記第3パターンCA3の紙面下側（+Y側）に配置されている。

また、レチクル $R_T'$ のパターン領域PA内には、レチクル $R_T'$ のアライメントが行われた状態で、投影光学系PLの視野内でその光学特性を検出すべき複数の評価点に対応する位置毎に前記計測用パターン200がそれぞれ配置されている。

次に、本第2の実施形態の露光装置における投影光学系PLの光学特性の計測方法について、主制御装置28内のCPUの処理アルゴリズムを簡略化して示す図23及び図24のフローチャートに沿って、かつ適宜他の図面を用いて説明する。

先ず、図23のステップ902において、前述のステップ402と同様にしてレチクルステージRST上にレチクル $R_T'$ をロードするとともに、ウエハ

$W_T$  をウエハテーブル 18 上にロードする。なお、ウエハ  $W_T$  には、その表面にポジ型のフォトレジストで感光層が形成されているものとする。

次のステップ 904において、前述のステップ 404 と同様の手順でレチクルアライメント、レチクルブラインドの設定などの所定の準備作業を行う。

次のステップ 908 では、前述のステップ 408 と同様に露光エネルギー量の目標値を初期化する。すなわち、露光エネルギー量の目標値の設定とともに、露光の際のウエハ  $W_T$  の行方向の移動目標位置の設定に用いられる前述のカウンタ  $j$  に初期値「1」を設定して露光エネルギー量の目標値  $P_j$  を  $P_1$  に設定する ( $j \leftarrow 1$ )。なお、本実施形態においても、露光エネルギー量を  $P_1$  から  $\Delta P$  刻みで  $P_N$  (一例として  $N = 23$ ) まで変化させる ( $P_j = P_1 \sim P_{23}$ )。

次のステップ 910 では、前述のステップ 410 と同様に、ウエハ  $W_T$  のフォーカス位置 (Z 軸方向の位置) の目標値を初期化する。すなわち、ウエハ  $W_T$  のフォーカス位置の目標値の設定とともに、露光の際のウエハ  $W_T$  の列方向の移動目標位置の設定に用いられる前述のカウンタ  $i$  に初期値「1」を設定してウエハ  $W_T$  のフォーカス位置の目標値  $Z_i$  を  $Z_1$  に設定する ( $i \leftarrow 1$ )。本第 2 の実施形態においても、ウエハ  $W_T$  のフォーカス位置を  $Z_1$  から  $\Delta Z$  刻みで  $Z_M$  (一例として  $M = 13$ ) まで変化させる ( $Z_i = Z_1 \sim Z_{13}$ )。

従って、本第 2 の実施形態では、投影光学系  $P_L$  の光軸方向に関するウエハ  $W_T$  の位置とウエハ  $W_T$  上に照射されるパルス照明光  $I_L$  のエネルギー量をそれぞれ変更しながら、計測用パターン  $200_n$  ( $n = 1 \sim 5$ ) をウエハ  $W_T$  上に順次転写するための、 $N \times M$  (一例として  $23 \times 13 = 299$ ) 回の露光が行われることになる。投影光学系  $P_L$  の視野内の各評価点に対応するウエハ  $W_T$  上の領域 (以下「評価点対応領域」という)  $DB_1 \sim DB_5$  には、図 25 に示されるように、 $N \times M$  個の計測用パターン  $200_n$  がそれぞれ転写されることとなる。なお、この評価点対応領域  $DB_1 \sim DB_5$  は、投影光学系  $P_L$  の視野内でその光学特性を検出すべき複数の評価点に対応している。そこで、本実施

形態では、データ処理を効率化するため、各評価点対応領域  $DB_1 \sim DB_5$  を仮想的に  $N \times M$  個のマトリックス状の区画領域にそれぞれ分割し、各区画領域を  $DA_{i,j}$  ( $i = 1 \sim M$ 、 $j = 1 \sim N$ ) で表記することとする。なお、区画領域  $DA_{i,j}$  は、前述の第 1 の実施形態と同様に、 $+X$  方向が行方向 ( $j$  の増加方向) となり、 $+Y$  方向が列方向 ( $i$  の増加方向) となるように配列されている。また、以下の説明において用いられる添え字  $i$ 、 $j$ 、及び  $M$ 、 $N$  は、上述と同じ意味を有する。

図 23 に戻り、次のステップ 912 では、ウエハ  $W_T$  上の各評価点対応領域  $DB_n$  ( $n = 1 \sim 5$ ) の仮想の区画領域  $DA_{i,j}$  (ここでは  $DA_{1,1}$  (図 25 参照)) に計測用パターン  $200_n$  の像がそれぞれ転写される位置に、前述のステップ 412 と同様にして XY ステージ 20 (ウエハ  $W_T$ ) を移動する。

次のステップ 914 では、前述のステップ 414 と同様に、ウエハ  $W_T$  のフォーカス位置が設定された目標値  $Z_i$  (この場合  $Z_1$ ) と一致するように、ウエハテーブル 18 を  $Z$  軸方向及び傾斜方向に微少駆動する。

次のステップ 916 では、露光を実行する。このとき、ウエハ  $W_T$  上の一点における露光エネルギー量 (露光量) が設定された目標値 (この場合  $P_1$ ) となるように、露光量制御を行う。この露光エネルギー量の制御方法としては、前述の第 1 ~ 第 3 の方法を、単独で、あるいは適宜組み合わせて用いることができる。

これにより、図 25 に示されるように、ウエハ  $W_T$  上の各評価点対応領域  $DB_1 \sim DB_5$  の区画領域  $DA_{1,1}$  にそれぞれ対応する計測用パターン  $200_n$  の像が転写される。

次のステップ 920 では、ウエハ  $W_T$  のフォーカス位置の目標値が  $Z_M$  以上であるか否かを判断することにより、所定の  $Z$  範囲での露光が終了したか否かを判断する。ここでは、最初の目標値  $Z_1$  での露光が終了しただけなので、ステップ 922 に移行し、カウンタ  $i$  を 1 インクリメントする ( $i \leftarrow i + 1$ ) と

ともに、ウエハ $W_T$  のフォーカス位置の目標値に $\Delta Z$ を加算する ( $Z_i \leftarrow Z + \Delta Z$ )。ここでは、フォーカス位置の目標値を $Z_2$  ( $= Z_1 + \Delta Z$ ) に変更した後、ステップ912に戻る。このステップ912において、ウエハ $W_T$  上の各評価点対応領域 $DB_n$ の区画領域 $DA_{2,1}$ に計測用パターン $200_n$ の像がそれぞれ転写される位置にウエハ $W_T$  が位置決めされるように、XYステージ20を所定のステップピッチだけXY面内で所定方向（この場合Y方向）に移動する。

次のステップ914では、ウエハ $W_T$  のフォーカス位置が目標値（この場合 $Z_2$ ）と一致するように、ウエハテーブル18を $\Delta Z$ だけ光軸AXpの方向にステップ移動し、ステップ916において前述と同様にして露光を行い、ウエハ $W_T$  上の各評価点対応領域 $DB_n$ の区画領域 $DA_{2,1}$ に計測用パターン $200_n$ の像をそれぞれ転写する。

以後、ステップ920における判断が肯定されるまで、すなわちそのとき設定されているウエハ $W_T$  のフォーカス位置の目標値が $Z_M$  であると判断されるまで、ステップ $920 \rightarrow 922 \rightarrow 912 \rightarrow 914 \rightarrow 916$ のループの処理（判断を含む）を繰り返す。これにより、ウエハ $W_T$  上の各評価点対応領域 $DB_n$ の区画領域 $DA_{i,1}$  ( $i = 3 \sim M$ ) に計測用パターン $200_n$  がそれぞれ転写される。

一方、区画領域 $DA_{M,1}$ に対する露光が終了し、上記ステップ920における判断が肯定されると、ステップ924に移行し、そのとき設定されている露光エネルギー量の目標値が $P_N$  以上であるか否かを判断する。この場合、設定されている露光エネルギー量の目標値は $P_1$  であるため、このステップ924における判断は、否定され、ステップ926に移行する。

ステップ926では、カウンタ $j$ を1インクリメントする ( $j \leftarrow j + 1$ ) とともに、露光エネルギー量の目標値に $\Delta P$ を加算する ( $P_j \leftarrow P_j + \Delta P$ )。ここでは、露光エネルギー量の目標値を $P_2$  ( $= P_1 + \Delta P$ ) に変更した後、ステップ9

10に戻る。

その後、ステップ910においてウエハ $W_T$  のフォーカス位置の目標値を初期化した後、ステップ912→914→916→920→922のループの処理（判断を含む）を繰り返す。このループの処理は、ステップ920における判断が肯定されるまで、すなわち露光エネルギー量の目標値 $P_2$  での、所定のウエハ $W_T$  のフォーカス位置範囲（ $Z_1 \sim Z_M$ ）についての露光が終了するまで、繰り返される。これにより、ウエハ $W_T$  上の各評価点対応領域 $DB_n$  の区画領域 $DA_{i,2}$ （ $i = 1 \sim M$ ）に計測用パターン $200_n$  の像が順次転写される。

一方、露光エネルギー量の目標値 $P_2$  での、所定のウエハ $W_T$  のフォーカス位置範囲（ $Z_1 \sim Z_M$ ）についての露光が終了すると、ステップ920における判断が肯定され、ステップ924に移行し、設定されている露光エネルギー量の目標値が $P_N$  以上であるか否かを判断する。この場合、設定されている露光エネルギー量の目標値は $P_2$  であるため、このステップ924における判断は、否定され、ステップ926に移行する。ステップ926において、カウンタ $j$  を1インクリメントするとともに、露光エネルギー量の目標値に $\Delta P$  を加算する（ $P_j \leftarrow P_j + \Delta P$ ）。ここでは、露光エネルギー量の目標値を $P_3$  に変更した後、ステップ910に戻る。以後、上記と同様の処理（判断を含む）を繰り返す。

このようにして、所定の露光エネルギー量の範囲（ $P_1 \sim P_N$ ）についての露光が終了すると、ステップ924における判断が肯定され、ステップ950に移行する。これにより、ウエハ $W_T$  上の各評価点対応領域 $DB_n$  には、図25に示されるように、それぞれ露光条件が異なる $N \times M$ （一例として $23 \times 13 = 299$ ）個の計測用パターン $200_n$  の転写像（潜像）が形成される。

ステップ950では、不図示のウエハアンローダを介してウエハ $W_T$  をウエハテーブル18上からアンロードするとともに不図示のウエハ搬送系を用いてウエハ $W_T$  を露光装置にインラインにて接続されている不図示のコータ・デベロッパに搬送する。

上記のコーダ・デベロッパに対するウエハ $W_T$  の搬送後に、ステップ952に進んでウエハ $W_T$  の現像が終了するのを待つ。このステップ952における待ち時間の間に、コーダ・デベロッパによってウエハ $W_T$  の現像が行われる。この現像の終了により、ウエハ $W_T$  上には、図25に示されるような矩形（長方形）の評価点対応領域 $DB_n$  ( $n = 1 \sim 5$ ) のレジスト像が形成され、このレジスト像が形成されたウエハ $W_T$  が投影光学系 $PL$ の光学特性を計測するための試料となる。

上記ステップ952の待ち状態で、不図示のコーダ・デベロッパの制御系からの通知によりウエハ $W_T$  の現像が終了したことを確認すると、ステップ954に移行し、不図示のウエハローダに指示を出して、前述のステップ902と同様にしてウエハ $W_T$  をウエハテーブル18上に再度ロードした後、ステップ956の投影光学系の光学特性を算出するサブルーチン（以下、「光学特性計測ルーチン」とも呼ぶ）に移行する。

この光学特性計測ルーチンでは、まず、図24のステップ958において、前述のステップ502と同様にして、カウンタ $n$ を参照して、ウエハ $W_T$  上の評価点対応領域 $DB_n$  のレジスト像がアライメント検出系ASで検出可能となる位置にウエハ $W_T$  を移動する。ここで、カウンタ $n$ は、 $n = 1$ に初期化されているものとする。従って、ここでは、図25に示されるウエハ $W_T$  上の評価点対応領域 $DB_1$  のレジスト像がアライメント検出系ASで検出可能となる位置にウエハ $W_T$  が位置決めされる。なお、以下の光学特性計測ルーチンの説明では、評価点対応領域 $DB_n$  のレジスト像を、適宜「評価点対応領域 $DB_n$ 」と略述するものとする。

次のステップ960では、ウエハ $W_T$  上の評価点対応領域 $DB_n$ （ここでは、 $DB_1$ ）のレジスト像をアライメント検出系ASのFIAセンサを用いて撮像し、その撮像データを取り込む。なお、FIAセンサから供給される複数のピクセルデータから成る撮像データは、本第2の実施形態においてもレジスト像

の濃度が高くなる（黒に近くなる）についてピクセルデータの値が大きくなるものとする。

また、ここでは、評価点対応領域DB1に形成されたレジスト像を1度に撮像するものとしたが、例えば、撮像データの分解能を向上させる必要がある場合には、アライメント検出系ASのFIAセンサの倍率を上げ、ウェハテーブル18をXY2次元方向に所定距離ステッピングさせる動作と、FIAセンサによるレジスト像の撮像とを交互に順次繰り返すことによって、区画領域毎に撮像データの取り込みを行うこととしても良い。

次のステップ962では、FIAセンサからの評価点対応領域DBn（ここでは、DB1）に形成されたレジスト像の撮像データを整理し、パターンCA1～CA4毎に、各区画領域DA<sub>i,j</sub>の撮像データファイルを作成する。すなわち、各区画領域DA<sub>i,j</sub>には、4つのパターンCA1～CA4の像が転写されているので、図26に示されるように、区画領域DA<sub>i,j</sub>をさらに4つの矩形エリアに分割し、パターンCA1の像が転写されている第1エリアAREA1内のピクセルデータをパターンCA1の撮像データ、パターンCA2の像が転写されている第2エリアAREA2内のピクセルデータをパターンCA2の撮像データ、パターンCA3の像が転写されている第3エリアAREA3内のピクセルデータをパターンCA3の撮像データ、パターンCA4の像が転写されている第4エリアAREA4内のピクセルデータをパターンCA4の撮像データとして、撮像データファイルを作成する。

図24に戻り、次のステップ964において、対象パターンを第1パターンCA1に設定し、前記撮像データファイルから、各区画領域DA<sub>i,j</sub>における第1パターンCA1の撮像データを抽出する。

次のステップ966では、区画領域DA<sub>i,j</sub>毎に第1エリアAREA1内に含まれる全てのピクセルデータを加算してピクセルデータに関する代表値としてのコントラストを求め、その加算値（加算結果）を第1のコントラストK1<sub>i,j</sub>

( $i = 1 \sim M$ 、 $j = 1 \sim N$ ) とする。

次のステップ968では、第1のコントラスト $K_{1,i,j}$ に基づいて区画領域 $D_{A_{i,j}}$ 毎に第1パターンCA1の像の形成状態を検出する。なお、像の形成状態の検出としては、種々のものが考えられるが、本第2の実施形態では、前述の第1の実施形態と同様に、区画領域内にパターンの像が形成されているか否かに着目する。すなわち、前記各区画領域 $D_{A_{i,j}}$ の第1パターンCA1の第1のコントラスト $K_{1,i,j}$ と所定の第1の閾値 $S_1$ とを比較して、各区画領域 $D_{A_{i,j}}$ における第1パターンCA1の像の有無を検出する。ここでは、第1のコントラスト $K_{1,i,j}$ が第1の閾値 $S_1$ 以上の場合には、第1パターンCA1の像が形成されていると判断し、検出結果としての判定値 $F_{1,i,j}$  ( $i = 1 \sim M$ 、 $j = 1 \sim N$ ) を「0」とする。一方、第1のコントラスト $K_{1,i,j}$ が所定の第1の閾値 $S_1$ 未満の場合には、第1パターンCA1の像が形成されていないと判断し、検出結果としての判定値 $F_{1,i,j}$ を「1」とする。これにより、図27のような検出結果が、第1パターンCA1について得られる。この検出結果は、図示しない記憶装置に保存される。なお、第1の閾値 $S_1$ は、予め設定されている値であり、オペレータが図示しない入出力装置を用いて変更することも可能である。

図24に戻り、次のステップ970において、上述の検出結果に基づいて、フォーカス位置毎にパターンの像が形成されている区画領域の数を前述の第1の実施形態と同様にして求める。すなわち、フォーカス位置毎に判定値「0」の区画領域が何個あるかを計数し、その計数結果をパターン残存数 $T_i$  ( $i = 1 \sim M$ ) とする。この際に、周囲の領域と異なる値を持ついわゆる飛び領域は無視する。例えば、図27の場合には、ウエハ $W_T$ のフォーカス位置が $Z_1$ ではパターン残存数 $T_1 = 1$ 、 $Z_2$ では $T_2 = 1$ 、 $Z_3$ では $T_3 = 2$ 、 $Z_4$ では $T_4 = 5$ 、 $Z_5$ では $T_5 = 7$ 、 $Z_6$ では $T_6 = 9$ 、 $Z_7$ では $T_7 = 11$ 、 $Z_8$ では $T_8 = 9$ 、 $Z_9$ では $T_9 = 7$ 、 $Z_{10}$ では $T_{10} = 5$ 、 $Z_{11}$ では $T_{11} = 2$ 、 $Z_{12}$ では $T_{12} = 0$ となる。

$Z_{12} = 1$ 、 $Z_{13} = 1$  では  $T_{13} = 1$  である。このようにして、フォーカス位置とパターン残存数  $T_i$  との関係を求めることができる。

この場合も、飛び領域がパターン残存数  $T_i$  の検出結果に与える影響を軽減するために、前述と同様のフィルタ処理を行っても良い。

図 24 に戻り、次のステップ 972 では、上記のフォーカス位置とパターン残存数  $T_i$  との関係において、山状のカーブが出ているか否かを確認する。例えば、図 27 の検出結果が第 1 パターン CA 1 について得られた場合には、中央のフォーカス位置 ( $= Z_7$ ) でのパターン残存数  $T_7$  が 11 であり、両端のフォーカス位置 ( $= Z_1, Z_{13}$ ) でのパターン残存数 ( $T_1, T_{13}$ ) が 1 であるため、山状のカーブが出ていると判断（ステップ 972 での判断を肯定）し、ステップ 974 に移行する。

ステップ 974 では、フォーカス位置とパターン残存数  $T_i$  との関係から、フォーカス位置と露光エネルギー量との関係を求める。すなわち、パターン残存数  $T_i$  を露光エネルギー量に変換する。この場合も、第 1 の実施形態と同様の理由により、パターン残存数  $T_i$  が露光エネルギー量に比例するものとして扱うことができる。

従って、フォーカス位置と露光エネルギー量との関係は、フォーカス位置とパターン残存数  $T_i$  との関係と同様な傾向を示す（図 28 参照）。

次に図 24 のステップ 974 において、上記のフォーカス位置と露光エネルギー量との関係に基づいて、例えば、図 28 に示されるように、フォーカス位置と露光エネルギー量との相関関係を示す高次の近似曲線（例えば 4 ~ 6 次曲線）を求める。

次のステップ 976 において、上記近似曲線において、ある程度の極値が求められるかどうかを判断する。そして、この判断が肯定された場合、すなわち極値が求められた場合には、ステップ 978 に移行し、その極値近傍を中心に、例えば、図 29 に示されるように、再度、フォーカス位置と露光エネルギー量と

の相関関係を示す高次の近似曲線（例えば4～6次曲線）を求める。

そして、次のステップ980において、上記高次の近似曲線の極値を求め、その場合のフォーカス位置を光学特性の一つである最良フォーカス位置とともに、該最良フォーカス位置を図示しない記憶装置に保存する。これにより、第1パターンCA1の第1のコントラストK<sub>1i,j</sub>に基づく最良フォーカス位置を求めることができる。

次のステップ982では、像の形成状態の検出に用いたコントラストが第1のコントラストK<sub>1i,j</sub>であるか否かを判断する。そして、この判断が肯定された場合、すなわち第1のコントラストK<sub>1i,j</sub>である場合には、ステップ988に移行し、各区画領域DA<sub>i,j</sub>における対象パターン、この場合第1パターンCA1の第2のコントラストを算出する。具体的には、前記撮像データファイルから、第1パターンCA1の撮像データを抽出する。そして、区画領域DA<sub>i,j</sub>毎に、図30に示されるように、前記第1エリアAREA1の中央部に設定され前記第1エリアAREA1の約4分の1の面積を有する第1サブエリアAREA1a内に含まれる全てのピクセルデータを加算してピクセルデータに関する代表値としてのコントラストを求め、その加算値（加算結果）を第1パターンCA1の第2のコントラストK<sub>2i,j</sub>（i=1～M、j=1～N）とする。すなわち、第1パターンCA1のL/Sパターンを構成する両端のラインパターンの撮像データを除外して、コントラストを求める。従って、第1サブエリアAREA1aの大きさは、第1パターンCA1の大きさに依存して決められる。

その後、図24のステップ968に戻り、前記第1のコントラストK<sub>1i,j</sub>の代わりに第2のコントラストK<sub>2i,j</sub>を用いて、前述と同様に、ステップ968→970→972→974→976→978→980の処理、判断を繰り返す。これにより、第1パターンCA1の第2のコントラストK<sub>2i,j</sub>に基づく最良フォーカス位置を求めることができる。

一方、ステップ982における判断が否定された場合、すなわち像の形成状

態の検出に用いたコントラストが第1のコントラスト $K_{1i,j}$ でない場合には、そのときの対象パターン、この場合第1パターンCA1での処理が終了したと判断し、ステップ984に移行する。

ステップ984では、処理が終了した対象パターンが第4パターンCA4であるか否かを判断する。ここでは、処理が終了した対象パターンは第1パターンCA1であるので、ステップ984における判断は否定され、ステップ996に移行し、対象パターンを次の対象パターン、この場合第2パターンCA2に変更し、ステップ966に戻る。

ステップ966では、各区画領域 $DA_{i,j}$ における対象パターン、この場合第2パターンCA2の第1のコントラスト $K_{1i,j}$ を前述の第1パターンの場合と同様にして算出する。これにより、区画領域 $DA_{i,j}$ 毎に第2エリアAREA2内に含まれる全てのピクセルデータの加算値が第2パターンCA2の第1のコントラスト $K_{1i,j}$ として算出される。

そして、前述の第1パターンCA1の場合と同様に、ステップ968→970→972→974→976→978→980の処理、判断を繰り返す。これにより、第2パターンCA2の第1のコントラスト $K_{1i,j}$ に基づく最良フォーカス位置を求めることができる。

次のステップ982において、像の形成状態の検出に用いたコントラストが第1のコントラスト $K_{1i,j}$ であるか否かを判断するが、ここでは第1のコントラスト $K_{1i,j}$ が用いられているので、ここでの判断は肯定され、ステップ988に移行し、各区画領域 $DA_{i,j}$ における対象パターン、この場合第2パターンCA2の第2のコントラストを前述と同様の手順で算出する。これにより、区画領域 $DA_{i,j}$ 毎に、図30に示されるように、前記第2エリアAREA2の中央部に設定され前記第2エリアAREA2の約4分の1の面積を有する第2サブエリアAREA2a内に含まれる全てのピクセルデータの加算値が第2のコントラスト $K_{2i,j}$  ( $i = 1 \sim M, j = 1 \sim N$ ) として算出される。

そして、ステップ968に戻り、第2のコントラスト $K_{2i,j}$ を用いて、前述と同様に、ステップ968→970→972→974→976→978→980の処理、判断を繰り返す。これにより、対象パターンである第2パターンCA2の第2のコントラスト $K_{2i,j}$ に基づく最良フォーカス位置を求めることができる。

一方、上記の如くして第2パターンCA2での処理が終了すると、ステップ982における判断が否定され、ステップ984に移行する。

ステップ984では、処理が終了した対象パターンが第4パターンCA4であるか否かを判断する。ここでは、処理が終了した対象パターンは第2パターンCA2であるので、ステップ984での判断は否定され、ステップ996に移行し、対象パターンを次の対象パターン、この場合第3パターンCA3に変更し、ステップ966に戻る。

ステップ966では、各区画領域 $DA_{i,j}$ における対象パターン、この場合第3パターンCA3の第1のコントラスト $K_{1i,j}$ を前述と同様にして算出する。これにより、区画領域 $DA_{i,j}$ 毎に第3エリアAREA3内に含まれる全てのピクセルデータの加算値が第3パターンCA3の第1のコントラスト $K_{1i,j}$ として算出される。

そして、ステップ968→970→972→974→976→978→980の処理、判断を繰り返す。これにより、第3パターンCA3の第1のコントラスト $K_{1i,j}$ に基づく最良フォーカス位置を求めることができる。

次のステップ982において、形成状態の検出に用いたコントラストが第1のコントラスト $K_{1i,j}$ であるか否かを判断するが、ここでは第1のコントラスト $K_{1i,j}$ が用いられているので、ここでの判断は肯定され、ステップ988に移行し、各区画領域 $DA_{i,j}$ における対象パターン、この場合第3パターンCA2の第2のコントラストを前述と同様の手順で算出する。これにより、区画領域 $DA_{i,j}$ 毎に、図30に示されるように、前記第3エリアAREA3の中央部

に設定され前記第3エリアAREA3の約4分の1の面積を有する第3サブエリアAREA3a内に含まれる全てのピクセルデータの加算値が第2のコントラストK2<sub>i,j</sub> (i=1~M, j=1~N) として算出される。

そして、ステップ968に戻り、第2のコントラストK2<sub>i,j</sub>を用いて、前述と同様に、ステップ968→970→972→974→976→978→980の処理、判断を繰り返す。これにより、対象パターンである第3パターンCA3の第2のコントラストK2<sub>i,j</sub>に基づく最良フォーカス位置を求めることができる。

一方、上記の如くして第3パターンCA3での処理が終了すると、ステップ982における判断が否定され、ステップ984に移行する。

ステップ984では、処理が終了した対象パターンが第4パターンCA4であるか否かを判断する。ここでは、処理が終了した対象パターンは第3パターンCA3であるので、ステップ984での判断は否定され、ステップ996に移行し、対象パターンを次の対象パターン、この場合第4パターンCA4に変更し、ステップ966に戻る。

ステップ966では、各区画領域DA<sub>i,j</sub>における対象パターン、この場合第4パターンCA4の第1のコントラストK1<sub>i,j</sub>を前述と同様にして算出する。これにより、区画領域DA<sub>i,j</sub>毎に第4エリアAREA4内に含まれる全てのピクセルデータの加算値が第4パターンCA4の第1のコントラストK1<sub>i,j</sub>として算出される。

そして、ステップ968→970→972→974→976→978→980の処理、判断を繰り返す。これにより、第4パターンCA4の第1のコントラストK1<sub>i,j</sub>に基づく最良フォーカス位置を求めることができる。

次のステップ982において、像の形成状態の検出に用いたコントラストが第1のコントラストK1<sub>i,j</sub>であるか否かを判断するが、ここでは第1のコントラストK1<sub>i,j</sub>が用いられているので、ここでの判断は肯定され、ステップ98

8に移行し、各区画領域  $DA_{i,j}$  における対象パターン、この場合第4パターン  $CA_4$  の第2のコントラストを前述と同様の手順で算出する。これにより、区画領域  $DA_{i,j}$  每に、図30に示されるように、前記第4エリア  $AREA_4$  の中央部に設定され前記第4エリア  $AREA_3$  の約4分の1の面積を有する第3サブエリア  $AREA_4a$  内に含まれる全てのピクセルデータの加算値が第4パターン  $CA_4$  の第2のコントラスト  $K2_{i,j}$  ( $i = 1 \sim M, j = 1 \sim N$ ) として算出される。

そして、ステップ968に戻り、第2のコントラスト  $K2_{i,j}$  を用いて、前述と同様に、ステップ  $968 \rightarrow 970 \rightarrow 972 \rightarrow 974 \rightarrow 976 \rightarrow 978 \rightarrow 980$  の処理、判断を繰り返す。これにより、対象パターンである第4パターン  $CA_4$  の第2のコントラスト  $K2_{i,j}$  に基づく最良フォーカス位置を求めることができる。

一方、上記の如くして第4パターン  $CA_4$  での処理が終了すると、ステップ982の判断が否定され、更にステップ984における判断が肯定され、ステップ986に移行する。このステップ986では、前述のカウンタ  $n$  を参照して未処理の評価点対応領域があるか否かを判断する。この場合、評価点対応領域  $DB_1$  についての処理が終了しただけであるため、ここでの判断は肯定され、ステップ987に移行してカウンタ  $n$  を1インクリメント ( $n \leftarrow n + 1$ ) した後、ステップ958に戻り、カウンタ  $n$  を参照して次の評価点対応領域、この場合、評価点対応領域  $DB_2$  がアライメント検出系  $AS$  で検出可能となる位置に、ウエハ  $WT$  を位置決めする。

以後、ステップ958以下の処理、判断を繰り返して、前述した評価点対応領域  $DB_1$  の場合と同様にして、評価点対応領域  $DB_2$  の第1パターン～第4パターンのそれぞれについて、第1のコントラスト及び第2のコントラストに基づいてそれぞれ最良フォーカス位置を求める。

そして、評価点対応領域  $DB_2$  の第4パターン  $CA_4$  での処理が終了すると、

ステップ984における判断が肯定され、ステップ986に移行し、前述のカウンタnを参照して未処理の評価点対応領域があるか否かを判断する。ここでは、評価点対応領域DB1, DB2についてだけ処理が終了しただけなので、ここでの判断は肯定され、ステップ987に移行してカウンタnを1インクリメントした後、ステップ958に戻る。以後、前記ステップ958以下の処理をステップ986における判断が否定されるまで繰り返して、他の評価点対応領域DB3～DB5について、前述した評価点対応領域DB1の場合と同様にして、第1パターン～第4パターンのそれぞれについて、第1のコントラスト及び第2のコントラストに基づいてそれぞれ最良フォーカス位置を求める。

この一方、上記ステップ976における判断が否定された場合、すなわち前記近似曲線に極値なしと判断された場合には、ステップ990に移行し、像の形成状態の検出に用いた閾値が第2の閾値S2であったか否かを判断する。そして、このステップ990における判断が否定された場合、すなわち、形成状態の検出に用いた閾値が第1の閾値S1であった場合には、ステップ994に移行して、第2の閾値S2（≠第1の閾値S1）を用いて像の形成状態の検出を行う。なお、第2の閾値S2は、第1の閾値S1と同様に、予め設定されている値であり、オペレータが図示しない入出力装置を用いて変更することも可能である。このステップ994では、前述したステップ968と同様の手順で像の形成状態の検出が行われる。そして、このステップ994での像の形成状態の検出が終了すると、ステップ970に移行して、以後前記と同様の処理、判断を繰り返す。

一方、上記ステップ990における判断が肯定された場合、すなわち像の形成状態の検出に用いた閾値が第2の閾値S2であった場合には、ステップ992に移行して、計測不可能であると判定して、その旨（計測不可能）の情報を検出結果として図示しない記憶装置に保存した後、ステップ982に進む。

さらに、前述と反対に、上記ステップ972における判断が否定された場合、

すなわちフォーカス位置とパターン残存数  $T_i$  との関係において、山状のカーブが出ていないと判断された場合には、ステップ 990 に進み、以後前記と同様の処理、判断を行う。

このようにして、ウエハ  $W_T$  上の全ての計測点対応領域 DB1 ~ DB5 について最良フォーカス位置の算出又は計測不能の判定がなされると、ステップ 986 での判断は否定され、ステップ 998 に移行し、上で求めた最良フォーカス位置データに基づいて、一例として次のようにして他の光学特性を算出する。

すなわち、例えば、評価点対応領域毎に、各パターン CA1 ~ CA4 の第 2 のコントラストから求めた最良フォーカス位置の平均値（単純平均値又は重み付け平均値）を算出し、投影光学系 PL の視野内の各評価点の最良フォーカス位置とともに、該最良フォーカス位置の算出結果に基づいて、投影光学系 PL の像面湾曲を算出する。

また、例えば第 1 パターン CA1 の第 2 のコントラストから求めた最良フォーカス位置と、第 2 パターン CA2 の第 2 のコントラストから求めた最良フォーカス位置とから非点収差を求めるとともに、第 3 パターン CA3 の第 2 のコントラストから求めた最良フォーカス位置と、第 4 パターン CA4 の第 2 のコントラストから求めた最良フォーカス位置とから非点収差を求める。そして、それらの非点収差の平均値から投影光学系 PL の視野内の各評価点での非点収差を求める。

さらに、例えば投影光学系 PL の視野内の各評価点について、上述のようにして算出された非点収差に基づいて最小二乗法による近似処理を行うことにより非点収差面内均一性を求めるとともに、非点収差面内均一性と像面湾曲から総合焦点差を求める。

また、例えば、各パターン CA1 ~ CA4 について、第 1 のコントラストから求めた最良フォーカス位置と、第 2 のコントラストから求めた最良フォーカス位置との差から投影光学系のコマ収差の影響を求めるとともに、パターンの

周期方向とコマ収差の影響との関係を求める。

このようにして求められた投影光学系の光学特性データは、図示しない記憶装置に保存されるとともに、不図示の表示装置の画面上に表示される。

このようにして、図23のステップ956の処理を終了し、一連の光学特性の計測処理を完了する。

デバイス製造の場合における、本第2の実施形態の露光装置による露光処理動作は、前述した第1の実施形態の露光装置100の場合と同様にして行われるので、詳細説明については省略する。

以上説明したように、本第2の実施形態に係る光学特性計測方法によると、像の転写領域のピクセルデータに関する代表値としてのコントラストと所定の閾値とを比較することにより、像の形成状態を検出するという、画像処理手法を用いているために、従来の目視により寸法を計測する方法（例えば、前述したCD／フォーカス法など）と比較して、像の形成状態を検出するのに要する時間を短縮することが可能となる。

また、画像処理という客観的かつ定量的な検出手法を用いているため、従来の寸法を計測する方法と比較して、パターン像の形成状態を精度良く検出することができる。そして、客観的かつ定量的に求められた形成状態の検出結果に基づいて、最良フォーカス位置を決定しているため、短時間で精度良く最良フォーカス位置を求めることが可能となる。従って、この最良フォーカス位置に基づいて決定される光学特性の測定精度及び測定結果の再現性を向上させることができるとともに、結果的に光学特性計測のスループットを向上させることができるとともに、評価点の数を増加させることができるとともに、

また、従来の寸法を計測する方法（例えば、前述したCD／フォーカス法やSMPフォーカス計測法など）に比べて、計測用パターンを小さくすることができるため、レチクルのパターン領域PA内に多くの計測用パターンを配置することが可能となる。従って、評価点の数を増加させることができるとともに、

各評価点間の間隔を狭くすることができ、結果的に光学特性計測の測定精度を向上させることが可能となる。

また、本第2の実施形態では、計測用パターンの像の転写領域のコントラストと所定の閾値とを比較することにより、計測用パターンの像の形成状態を検出しているために、レチクル  $R_T$  のパターン領域  $P_A$  内に計測用パターン以外のパターン（例えば、比較用の基準パターンや、位置決め用マークパターン等）を配置する必要がなく、従って、評価点の数を増加させることができるとともに、各評価点間の間隔を狭くすることができるとともに、各評価点間の間隔を狭くすることが可能となる。これにより、結果的に、光学特性の測定精度及び測定結果の再現性を向上させることができる。

本第2の実施形態に係る光学特性計測方法によると、統計処理による近似曲線の算出という客観的、かつ確実な方法を基礎として最良フォーカス位置を算出しているので、安定して高精度かつ確実に光学特性を計測することができる。なお、近似曲線の次数によっては、その変曲点、あるいはその近似曲線と所定のスライスレベルとの複数の交点等に基づいて最良フォーカス位置を算出することは可能である。

また、本第2の実施形態に係る露光方法によると、上述のようにして決定された最良フォーカス位置を考慮して露光の際のフォーカス制御目標値の設定が行われるので、デフォーカスによる色むらの発生を効果的に抑制して、微細パターンをウエハ上に高精度に転写することができる。

さらに、本第2の実施形態では、第1のコントラストは、パターンの像が転写されている転写エリア全体のピクセルデータの加算値であるために、S/N比が高く、像の形成状態と露光条件との関係を精度良く求めることができる。

また、本第2の実施形態では、第2のコントラストは、L/Sパターンの像が転写されている転写エリアのピクセルデータから、L/Sパターンを構成するラインパターンの両端に位置するラインパターンのピクセルデータを除外しているために、像の形成状態の検出結果に対する投影光学系のコマ収差の影響

を除くことができ、光学特性を精度良く求めることができとなる。

しかも、第1のコントラストに基づく最良フォーカス位置と第2のコントラストに基づく最良フォーカス位置との差から、投影光学系の光学特性の一つであるコマ収差の影響を抽出することができる。

なお、上記第2の実施形態では、レチクル $R_T'$ 上の計測用パターン $200_n$ は、周期方向のみが異なる4種類のL/Sパターンであるものとしたが、本発明がこれに限定されることは言うまでもない。計測用パターンとしては、密集パターンと孤立パターンのいずれを用いても良いし、その両方のパターンを併用したり、少なくとも1種類のL/Sパターン、例えば1種類のL/Sパターンのみであっても良く、また、孤立線やコンタクトホールなどを用いても良い。計測用パターンとしてL/Sパターンを用いる場合には、デューティ比及び周期方向は、任意で良い。また、計測用パターンとして周期パターンを用いる場合、その周期パターンは、L/Sパターンだけではなく、例えばドットマークを周期的に配列したパターンでも良い。これは、像の線幅等を計測する従来の方法とは異なり、像の形成状態をコントラストで検出しているからである。

また、上記第2の実施形態では、2種類のコントラスト（第1のコントラストと第2のコントラスト）でそれぞれ最良フォーカス位置を求めていが、いずれか一方のコントラストで最良フォーカス位置を求めても良い。

さらに、上記第2の実施形態では、パターンが形成されている部分のピクセルデータはパターンが形成されていない部分よりも大きいものとしているが、これに限定されるものではない。また、上記実施形態では、ピクセルデータの加算値からコントラストを求めていが、これに限定されず、例えばピクセルデータの微分総和値、分散あるいは標準偏差を算出し、その算出結果をコントラストとしても良い。そして、例えばパターンの残らないところのピクセルデータを基準とし、それに対してコントラストが黒に偏っている場合あるいは白に偏っている場合を、パターンが形成されていると判断することも可能である。

なお、上記第2の実施形態において、第2のコントラストとして、前述したピクセルデータに関する代表値（スコア）を採用することとしても良い。この場合、パターン有無判別を行うための代表値（スコア）として、各領域（上記実施形態では第1エリアAREA1～第4エリアAREA4）内のピクセル値のばらつきを用いることかできる。例えば、領域内指定範囲のピクセル値の分散（又は標準偏差、加算値、微分総和値など）を、スコアEとして採用することができる。

例えば、パターンCA1～CA4がそれぞれ転写される領域（AREA1～AREA4）とほぼ中心を同じくする該領域（AREA1～AREA4）のほぼ60%に縮小した範囲に存在するものとすると、上記の指定範囲として、例えば領域（AREA1～AREA4）と中心を同じくし、その領域をA%（一例として60%< A% < 100%）程度に縮小した範囲をスコア算出に用いることができる。

この場合、パターン部が領域（AREA1～AREA4）の約60%を占めているため、スコア算出に用いる領域の領域（AREA1～AREA4）に対する比を上げるほどS/N比が上がるものと予想される。従って、例えばA% = 90%という比率を採用することができる。この場合も、幾つかの比率を実験的に確認して、最も安定した結果が得られる比率にA%を定めることが望ましい。

上記の方法で求めたスコアEは、パターン有無具合を数値として表しているので、前述と同様に、所定の閾値で二値化することによってパターン有無の判別を自動的にかつ安定して行うことが可能となる。

上述したスコアEと同様にして決定されたピクセルデータに関する代表値をパターンの形成状態の検出に用いる場合には、例えば1種類のL/Sパターンのみを計測用パターンとして用いる場合などにも、パターンの有無の判別を正確に行うことが期待される。この場合、上記第2の実施形態に即して説明する

と、パターン残存領域について、領域  $D A_{i,j}$  内に 1 つの L/S パターンの像のみが形成されることになるが、スコア E と同様にして決定されたピクセルデータに関する代表値を用いる場合には、安定してパターン有無の判別を行うことができるので、必ずしも上記第 2 の実施形態のように 2 種類のコントラスト値の検出を行う必要はない。

また、上記第 2 の実施形態では、ピクセルデータを抽出するエリアを矩形としているが、これに限定されるものではなく、例えば、円形や橢円形、あるいは三角形などであっても良い。また、その大きさも任意に設定することができる。すなわち、計測用パターンの形状に合わせて抽出エリアを設定することによりノイズを減少させ、S/N 比を高くすることが可能である。勿論、これらの場合にも、ピクセルデータの全てではなく、その一部のデータのみを用いても良く、その一部のピクセルデータの加算値、微分総和値、分散及び標準偏差の少なくとも 1 つを代表値とし、該代表値と所定の閾値とを比較して計測用パターンの像の形成状態を検出することとしても良い。

また、上記第 2 の実施形態では、像の形成状態の検出に 2 種類の閾値を用いているが、これに限定されるものではなく、少なくとも 1 つの閾値であれば良い。

さらに、上記第 2 の実施形態では、第 1 の閾値での検出結果から最良フォーカス位置が算出困難な場合にのみ、第 2 の閾値での形成状態の検出を行い、その検出結果から最良フォーカス位置を求めているが、予め複数の閾値  $S_m$  を設定しておき、各閾値  $S_m$  每に最良フォーカス位置  $Z_m$  を求め、それらの平均値（単純平均値あるいは重み付け平均値）を最良フォーカス位置  $Z_{best}$  としても良い。図 3.1 には、一例として、5 種類の閾値  $S_1 \sim S_5$  を用いた検出結果に基づく、露光エネルギー量 P とフォーカス位置 Z との関係が簡略化して示されている。これにより、各閾値に応じて、露光エネルギー量 P が極値を示すときのフォーカス位置が順次算出される。そして、各フォーカス位置の平均値を最良フォーカス位置とする。

一カス位置  $Z_{best}$  とする。なお、露光エネルギー量  $P$  とフォーカス位置  $Z$  との関係を示す近似曲線と適当なスライスレベル（露光エネルギー量）との2つの交点（フォーカス位置）を求め、両交点の平均値を、各閾値毎に算出し、それらの平均値（単純平均値あるいは重み付け平均値）を最良フォーカス位置  $Z_{best}$  としても良い。

あるいは、閾値  $S_m$  毎に最良フォーカス位置  $Z_m$  を算出し、図32に示されるように、閾値  $S_m$  と最良フォーカス位置  $Z_m$  との関係において、閾値  $S_m$  の変動に対して、最良フォーカス位置  $Z_m$  の変化が最も小さい区間における最良フォーカス位置  $Z_m$  の平均値（図32では、 $Z_2$  と  $Z_3$  の単純平均値あるいは重み付け平均値）を最良フォーカス位置  $Z_{best}$  としても良い。

また、上記第2の実施形態では、予め設定されている値を閾値として用いているが、これに限定されるものではない。例えば、ウェハ  $W_T$  上の計測用パターンが転写されていない領域を撮像し、得られたコントラストを閾値としても良い。

さらに、上記第2の実施形態では、 $N \times M$  個の区画領域を全て露光するものとしたが、前述した第1の実施形態と全く同様に  $N \times M$  個の区画領域の少なくとも1個について露光を行わなくても良い。

なお、上記第2の実施形態の露光装置では、主制御装置が、図示しない記憶装置に格納されている処理プログラムに従って、前述した投影光学系の光学特性の計測を行うことにより、計測処理の自動化を実現することができる。勿論、この処理プログラムは、他の情報記録媒体（CD-ROM、MO等）に保存されていても良い。さらに、計測を行う時に、図示しないサーバから処理プログラムをダウンロードしても良い。また、計測結果を、図示しないサーバに送付したり、インターネットやイントラネットを介して電子メール及びファイル転送等により、外部に通知することも可能である。

また、上記第2の実施形態と同様の処理を行う際に、露光エネルギー量  $P$  とフ

オーカス位置  $Z$  との関係において、図 3-3 に示されるように、極値が複数含まれる場合がある。このような場合、最大の極値を有する曲線 G のみに基づいて、最良フォーカス位置を算出するようにしても良いが、小さい極値を有する曲線 B, C も必要な情報を含む場合があるため、これを無視することなく、曲線 B, C をも用いて最良フォーカス位置を算出することが望ましい。例えば、曲線 B, C の極値に対応するフォーカス位置の平均値と、曲線 G の極値に対応するフォーカス位置との平均値（単純平均値あるいは重み付け平均値）を最良フォーカス位置とするなどである。

なお、上記第 2 の実施形態では、各パターンの線幅がすべて同一の場合について説明しているが、これに限定されるものではなく、異なる線幅を有するパターンが含まれていても良い。これにより、光学特性に及ぼす線幅の影響を求めることができる。

また、上記第 2 の実施形態において、ウェハ上の評価点対応領域を、前述の如く、マトリックス状の区画領域に分割することは必ずしも必要ではない。すなわち、ウェハ上のいずれの位置にパターンの転写像が転写されていても、その撮像データを用いてコントラストを求めるることは十分に可能だからである。すなわち、撮像データファイルが作成できれば良いからである。

なお、上記第 1 の実施形態で説明した技術と、第 2 の実施形態で説明した技術とを適宜組み合わせても良い。例えば、上記第 1 の実施形態で、計測用パターンとして、第 2 の実施形態と同様のパターンを用いても良い。このようにすると、第 2 の実施形態と同様に、投影光学系 PL の像面湾曲に加え、投影光学系 PL の視野内の各評価点での非点収差、非点収差面内均一性、更には非点収差面内均一性と像面湾曲とから総合焦点差などを、上記第 1 の実施形態と同様にして高精度に求めることができる。

なお、上記第 1、第 2 の実施形態では、結像特性補正コントローラを介して投影光学系 PL の結像特性を調整するものとしたが、例えば、結像特性補正コ

ントローラだけでは結像特性を所定の許容範囲内に制御することができないときなどは、投影光学系PLの少なくとも一部を交換しても良いし、あるいは投影光学系PLの少なくとも1つの光学素子を再加工（非球面加工など）しても良い。また、特に光学素子がレンズエレメントであるときはその偏芯を変更したり、あるいは光軸を中心として回転させても良い。このとき、露光装置のアライメント検出系を用いてレジスト像などを検出する場合、主制御装置はディスプレイ（モニター）への警告表示、あるいはインターネット又は携帯電話などによって、オペレータなどにアシストの必要性を通知しても良いし、投影光学系PLの交換箇所や再加工すべき光学素子など、投影光学系PLの調整に必要な情報を一緒に通知すると良い。これにより、光学特性の計測などの作業時間だけでなく、その準備期間も短縮でき、露光装置の停止期間の短縮、すなわち稼働率の向上を図ることが可能となる。

また、上記第1、第2の実施形態では、計測用パターンをウエハWT上の各区画領域DA<sub>i,j</sub>に転写した後、現像後にウエハWT上の各区画領域DA<sub>i,j</sub>に形成されるレジスト像をFIA系のアライメント検出系ASによって撮像し、その撮像データに対して画像処理を行う場合について説明したが、本発明に係る光学特性の計測方法はこれに限定されるものではない。例えば、撮像の対象は、露光の際にレジストに形成された潜像であっても良く、上記像が形成されたウエハを現像し、さらにそのウエハをエッチング処理して得られる像（エッチング像）などに対して行っても良い。また、ウエハなどの物体上における像の形成状態を検出するための感光層は、フォトレジストに限らず、光（エネルギー）の照射によって像（潜像及び顯像）が形成されるものであれば良い。例えば、感光層は、光記録層、光磁気記録層などであっても良く、従って、感光層が形成される物体もウエハ又はガラスプレート等に限らず、光記録層、光磁気記録層などが形成可能な板等であっても良い。

また、撮像装置として露光装置外に設けられた専用の撮像装置（例えば光学

顕微鏡など) を用いても良い。また、撮像装置として LSA 系のアライメント検出系 AS を用いることも可能である。転写像のコントラスト情報が得られれば良いからである。さらに、オペレータなどが介在することなく、前述の計測結果(最良フォーカス位置など)に基づいて投影光学系 PL の光学特性を調整することができる。すなわち、露光装置に自動調整機能を持たせることが可能となる。

また、上記第 1、第 2 の実施形態では、パターンの転写の際に変更される露光条件が、投影光学系の光軸方向に関するウエハ  $W_T$  の位置及びウエハ  $W_T$  の面上に照射されるエネルギービームのエネルギー量(露光ドーズ量)である場合について説明したが、本発明がこれに限定されるものではない。例えば、照明条件(マスクの種別を含む)、投影光学系の結像特性など露光に関連する全ての構成部分の設定条件などの何れかであれば良く、また、必ずしも 2 種類の露光条件を変更しながら露光を行う必要もない。すなわち、一種類の露光条件、例えば投影光学系の光軸方向に関するウエハ  $W_T$  の位置のみを変更しながら、計測用マスクのパターンをウエハなどの物体上の複数の領域に転写し、その転写像の形成状態を検出する場合であっても、コントラスト計測(スコアを用いた計測を含む)、あるいはテンプレートマッチングの手法により、その検出を迅速に行うことができるという効果がある。例えば、エネルギー量のかわりに、ラインパターンの線幅、もしくはコンタクトホールのピッチ等の変化によって投影光学系の光学特性を計測することができる。

また、上記第 1、第 2 の実施形態において、最良フォーカス位置とともに最良露光量を決定することができる。すなわち、露光エネルギー量を低エネルギー量側にも設定して、上記実施形態と同様の処理を行い、露光エネルギー量毎に、その像が検出されたフォーカス位置の幅を求め、該幅が最大となるときの露光エネルギー量を算出し、その場合の露光量を最良露光量とする。

さらに、上記第 1 及び第 2 の実施形態において、図 1 の露光装置はウエハ上

に転写すべきパターンに応じてレチクルの照明条件を変更可能となっているので、例えば露光装置で使用される複数の照明条件でそれぞれ上記各実施形態と同様の処理を行い、照明条件毎に前述の光学特性（最良フォーカス位置など）を求めることが好ましい。また、ウエハ上に転写すべきパターンの形成条件（例えばピッチ、線幅、位相シフト部の有無、密集パターンか孤立パターンかなど）が異なるときは、例えばパターン毎にその形成条件と同一あるいは近い形成条件の計測用パターンを用いて、上記各実施形態と同様の処理を行い、形成条件毎に前述の光学特性を求めるようにしても良い。

また、上記第1及び第2の実施形態において、投影光学系PLの光学特性として前述の計測点における焦点深度などを求めるようにしても良い。また、ウエハに形成する感光層（フォトレジスト）はポジ型だけでなくネガ型を用いても良い。

さらに、本発明が適用される露光装置の光源は、KrFエキシマレーザやArFエキシマレーザに限らず、F<sub>2</sub>レーザ（波長157nm）、あるいは他の真空紫外域のパルスレーザ光源であっても良い。この他、露光用照明光として、例えば、DFB半導体レーザ又はファイバーレーザから発振される赤外域、又は可視域の単一波長レーザ光を、例えばエルビウム（又はエルビウムとイッテルビウムの両方）がドープされたファイバーアンプで増幅し、非線形光学結晶を用いて紫外光に波長変換した高調波を用いても良い。また、紫外域の輝線（g線、i線等）を出力する超高圧水銀ランプ等を用いても良い。この場合には、ランプ出力制御、NDフィルタ等の減光フィルタ、光量絞り等によって露光エネルギーの調整を行えば良い。

なお、上記実施形態では、本発明がステップ・アンド・リピート方式の縮小投影露光装置に適用された場合について説明したが、本発明の適用範囲がこれに限定されないのは勿論である。すなわち、ステップ・アンド・スキャン方式、ステップ・アンド・スティッチ方式、ミラープロジェクション・アライナー、

及びフォトリピータなどにも好適に適用することができる。例えば、ステップ・アンド・スキャン方式の露光装置に本発明を適用する場合、特に第1の実施形態でステップ・アンド・スキャン方式の露光装置を用いる場合には、前述の開口パターンAPと同様の正方形、あるいは矩形の開口パターンが形成されたレチクルを、そのレチクルステージ上に搭載して、走査露光方式によって、前述の矩形枠状の第2領域を形成することができる。かかる場合には、前述の実施形態の場合に比べて第2領域の形成に要する時間を短縮することができる。

さらに、投影光学系PLは、屈折系、反射屈折系、及び反射系のいずれでも良いし、縮小系、等倍系、及び拡大系のいずれでも良い。

例えば、走査型露光装置の場合、非走査方向に細長い矩形又は円弧状のスリット状の照明領域が形成されるが、この照明領域に対応する投影光学系のイメージフィールド内の領域の内部に評価点を配置することにより、上記実施形態と全く同様にして、最良フォーカス位置や像面湾曲等の投影光学系PLの光学特性、及び最良露光量などを求めることができる。また、パルス光源を用いた走査型露光装置の場合、パルス光源から像面に照射される1パルス当たりのエネルギー量、パルス繰り返し周波数、照明領域の走査方向の幅（いわゆるスリット幅）、及び走査速度の少なくとも1つを調整することにより、像面における露光ドーズ量（露光エネルギー量、積算エネルギー量）を所望の値に調整することが可能である。

さらに、本発明は、半導体素子の製造に用いられる露光装置だけでなく、角型のガラスプレート上に液晶表示素子パターンを転写する液晶用の露光装置や、プラズマディスプレイや有機ELなどの表示装置、薄膜磁気ヘッド、撮像素子（CCDなど）、マイクロマシン及びDNAチップなどを製造するための露光装置、さらにはマスク又はレチクルの製造に用いられる露光装置などにも広く適用できる。また、半導体素子などのマイクロデバイスだけでなく、光露光装置、EUV露光装置、X線露光装置、及び電子線露光装置などで使用されるレチク

ル又はマスクを製造するために、ガラス基板又はシリコンウェハなどに回路パターンを転写する露光装置にも本発明を適用できる。

なお、上記各実施形態では、露光装置が静止露光方式を用いるものとしたが、走査露光方式の露光装置を用いても、上記実施形態と同様の処理を行うことで投影光学系の光学特性を計測することができる。また、走査露光方式の露光装置では、前述の計測用パターンを用いてウエハを露光するとき、レチクルとウエハとをほぼ静止させて計測用パターンを転写し、レチクルステージやウエハステージの移動精度などの影響を含まない光学特性を求めることが望ましい。勿論、走査露光方式にて計測用パターンを転写し、ダイナミックな光学特性を求めるようにしても良い。

#### 《デバイス製造方法》

次に、上記説明した露光装置及び方法を使用したデバイスの製造方法の実施形態を説明する。

図34には、デバイス（ICやLSI等の半導体チップ、液晶パネル、CCD、薄膜磁気ヘッド、DNAチップ、マイクロマシン等）の製造例のフローチャートが示されている。図34に示されるように、まず、ステップ301（設計ステップ）において、デバイスの機能・性能設計（例えば、半導体デバイスの回路設計等）を行い、その機能を実現するためのパターン設計を行う。引き続き、ステップ302（マスク製作ステップ）において、設計した回路パターンを形成したマスクを製作する。一方、ステップ303（ウエハ製造ステップ）において、シリコン等の材料を用いてウエハを製造する。

次に、ステップ304（ウエハ処理ステップ）において、ステップ301～ステップ303で用意したマスクとウエハを使用して、後述するように、リソグラフィ技術によってウエハ上に実際の回路等を形成する。次いで、ステップ305（デバイス組立ステップ）において、ステップ304で処理されたウエハを用いてデバイス組立を行う。このステップ305には、ダイシング工程、

ボンディング工程、及びパッケージング工程（チップ封入）等の工程が必要に応じて含まれる。

最後に、ステップ306（検査ステップ）において、ステップ305で作製されたデバイスの動作確認テスト、耐久性テスト等の検査を行う。こうした工程を経た後にデバイスが完成し、これが出荷される。

図35には、半導体デバイスの場合における、上記ステップ304の詳細なフロー例が示されている。図35において、ステップ311（酸化ステップ）においてはウエハの表面を酸化させる。ステップ312（CVDステップ）においてはウエハ表面に絶縁膜を形成する。ステップ313（電極形成ステップ）においてはウエハ上に電極を蒸着によって形成する。ステップ314（イオン打込みステップ）においてはウエハにイオンを打ち込む。以上のステップ311～ステップ314それぞれは、ウエハ処理の各段階の前処理工程を構成しており、各段階において必要な処理に応じて選択されて実行される。

ウエハプロセスの各段階において、上述の前処理工程が終了すると、以下のようにして後処理工程が実行される。この後処理工程では、まず、ステップ315（レジスト形成ステップ）において、ウエハに感光剤を塗布する。引き続き、ステップ316（露光ステップ）において、上記各実施形態の露光装置及び露光方法によってマスクの回路パターンをウエハに転写する。次に、ステップ317（現像ステップ）においては露光されたウエハを現像し、ステップ318（エッチングステップ）において、レジストが残存している部分以外の部分の露出部材をエッチングにより取り去る。そして、ステップ319（レジスト除去ステップ）において、エッチングが済んで不要となったレジストを取り除く。

これらの前処理工程と後処理工程とを繰り返し行うことによって、ウエハ上に多重に回路パターンが形成される。

以上のような、本実施形態のデバイス製造方法を用いれば、露光ステップ（ス

ステップ316)で、上記各実施形態の露光装置及び露光方法が用いられるので、前述した光学特性計測方法で精度良く求められた光学特性を考慮して調整された投影光学系を介して高精度な露光が行われ、高集積度のデバイスを生産性良く製造することが可能となる。

上述した本発明の実施形態は、現状における好適な実施形態であるが、リソグラフィシステムの当業者は、本発明の精神と範囲から逸脱することなく、上述した実施形態に対して、多くの付加、変形、置換をすることに容易に想到するであろう。全てのこうした付加、変形、置換は、以下に記載される請求の範囲によって最も的確に明示される本発明の範囲に含まれるものである。